

UNIVERSITÉ DE NANCY
FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

présentées

à la Faculté des Sciences de Nancy

pour obtenir

le grade de Docteur de l'Université de Nancy (mention sciences)

par

PIERRE M. A. MICHAUX

*Ingénieur de l'Institut Electrotechnique et de
Mécanique Appliquée de Nancy,
Licencié es-Sciences,
Conseiller Technique des Filiales de
Malaisie, Indochine et Cameroun
de la
Société Financière des Caoutchoucs.*

PREMIERE THESE. — Recherches concernant la Discrimination des Plantes Adventices en Relation avec l'Economie des sols des Plantations d'Heveas et d'Elaeis de la Malaisie Britannique.

SECONDE THESE. — Proposition donnée par la Faculté.

Soutenues le *20 Mars* 1935 devant la
Commission d'Examen.

MM. E. GAIN, *Président.*

BOUIN, *Examineurs.*
JOLY,

IMPRIMERIE JEL
16, Rue Ernest Cresson
PARIS
— 1935 —

UNIVERSITÉ DE NANCY
FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

présentées

à la Faculté des Sciences de Nancy

pour obtenir

le grade de Docteur de l'Université de Nancy (mention sciences)

par

PIERRE M. A. MICHAUX

*Ingénieur de l'Institut Electrotechnique et de
Mécanique Appliquée de Nancy,
Licencié es-Sciences,
Conseiller Technique des Filiales de
Malaisie, Indochine et Cameroun
de la
Société Financière des Caoutchoucs.*

PREMIERE THESE. — Recherches concernant la Discrimination des Plantes Adventices en Relation avec l'Economie des sols des Plantations d'Heveas et d'Elaeis de la Malaisie Britannique.

SECONDE THESE. — Proposition donnée par la Faculté.

Soutenues le
Commission d'Examen.

1935 devant la

MM. E. GAIN, *Président.*

BOUIN,

Examineurs.

JOLY,

IMPRIMERIE JEL
16, Rue Ernest Cresson
PARIS

— 1935 —

UNIVERSITÉ DE NANCY

FACULTÉ DES SCIENCES

DOYEN : M. CORNUBERT.

ASSESSEUR : M. GAIN.

DOYENS HONORAIRES^e: MM. PETIT, LEAU.

PRÆFESSEURS HONORAIRES : MM. CARTAN, BLAISE,
THOULET, GUYOT, GUNTZ, GRIGNARD, DARMOIS, E.,
GUTTON, PETIT, GROZE

MAITRES DE CONFÉRENCES HONORAIRES : MM. FEREE,
DELATOUR, RICHARD, FRIEDEL.

PROFESSEURS :

MM.	
CUENOT	Zoologie.
MAUDUIT	Electrotechnique.
GAIN	Botanique.
LEAU	Calcul différentiel et intégral.
BOURION	Chimie physique et electrochimie.
HUSSON	Mécanique rationnelle.
VAVON	Chimie organique.
FALLOT	Géologie.
TRAVERS	Chimie industrielle.
LONGCHAMBON	Minéralogie.
CORNUBERT	Chimie.
COURTOT	Chimie appliquée à la teinture.
MENTRE	Mécanique appliquée.
BOUIN	Zoologie appliquée.
DE MALLEMANN	Physique.
LAFFITTE	Chimie minérale.
CHEVALLIER	Physique.
JOLY	Géologie de Lorraine.

MAITRES DE CONFERENCES

MM. RAYBAUD	Botanique.
DELSARTE	Mathématiques appliquées.
POIROT	Physique.
LAPORTE	Physique.

CHARGÉ DE COURS :

M. DUBREIL Analyse supérieure.

SECRÉTAIRE : M. BERTRAND



A mon Président de Thèse :

Monsieur EDMOND GAIN,

avec l'expression de ma reconnaissance.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A Monsieur Ph. LANGLOIS, Administrateur de la Société
Financière des Caoutchoucs.

*Qui a bien voulu, comme Inspecteur général des
plantations de ce groupe, autoriser l'utilisation de
documents amassés au cours de mes recherches.*

En témoignage d'affectueuse gratitude.

A mon frère : R. M. E. MICHAUX, Directeur général des
Plantations de la Socfin en Malaisie.

En témoignage d'affection et de reconnaissance.

A Monsieur J. JANSSENS, Inspecteur des Plantations des
Sociétés des Terres Rouges et du Cambodge.

En témoignage d'affectueuse gratitude.

A Monsieur S. T. RHODES, Directeur général par intérim
des Plantations de la Socfin.

En témoignage d'affectueuse gratitude.

A Monsieur F. de LANGLADE, mon ami et mon successeur,
qui poursuit le cours de mes travaux.

A mes Collaborateurs directs,

Membres du Service Technique, que j'ai eu l'honneur
de diriger à Kuala Lumpur, avant d'être promu à mes
fonctions actuelles.

J. TALOU, Ingénieur de l'Ecole d'Agriculture d'Alger,
qui apporta une aide clairvoyante à l'établissement et à la
surveillance des expériences des champs.

I. SIBIRIAKOFF, Ingénieur électricien de l'Université
de Liège, chargé des usines, dont l'amitié fut un précieux
encouragement.

F. GAIN, Ingénieur de l'Institut Agricole de l'Université
de Nancy, chargé de notre laboratoire et de nombreuses
recherches, dont la collaboration intelligente et amicale
fut considérablement mise à l'épreuve.

M^{me} E. L. WATSON, ma secrétaire, dont la collabora-
tion amicale et l'esprit critique furent une aide ines-
timable.

Mr. CHAN SEE PENG, chimiste, dont la haute
conscience professionnelle fut particulièrement appréciée.

Tout mon Personnel Indigène, qui contribua à mes recher-
ches avec une loyauté et un courage dignes d'éloges.

A mes Collaborateurs indirects, personnel des plantations, dont l'obligeance et l'amitié furent mises à rude contribution par l'établissement et la bonne marche d'une centaine d'expériences, réparties sur plus de 1.500 hectares.

Témoignage d'amitié et de gratitude.

RECHERCHES

concernant

la discrimination des plantes adventices
en relation avec l'économie des sols
des plantations d'Heveas et d'Elaeis
de la Malaisie britannique.

AVANT-PROPOS

HISTORIQUE DES PLANTATIONS

A. — LES CULTURES

HEVEA BRASILIENSIS, Muell. Arg. (Arbre à latex de caoutchouc).

Cette Euphorbiacée est originaire du Brésil, où elle vit à l'état sauvage, au sein des forêts équatoriales. M. H. Wickham réussit, en 1876, à apporter à Ceylan (aux jardins botaniques de Henaratgoda) 7.000 graines. Les 457 beaux arbres qui restaient en 1887, furent les parents du demi-milliard d'Heveas qui couvrent actuellement plus de *trois millions* d'hectares de plantations.

Pour apprécier le bien-fondé de la technique rudimentaire, qui a présidé à cette expansion colossale, il faut insister sur sa rapidité et sur les conditions économiques, de jour en jour plus difficiles, auxquelles le planteur eut à faire face.

On estime qu'au début du siècle, les surfaces plantées ne couvraient pas mille hectares. En 1904, elles atteignaient 20.000 hectares; en 1910, 600.000; en 1926, 2.500.000.

Le prix moyen du caoutchouc était voisin de :

En 1906	Shill.	6/0	par lb.
En 1910	—	8/6	—
En 1921	—	0/8	—
En 1925	—	2/2	—

Ce fut alors la chute continuelle des cours, qui atteignirent en 1932 le plus bas cours de 0/1,5 par lb.

Nous avons donc affaire à une industrie très jeune, qui a oscillé depuis sa naissance, entre les périodes d'opulence (développements fiévreux et hâtifs) et les périodes de crises graves. Il n'y a pas eu de longues périodes stables, permettant des études et recherches d'une ampleur suffisante.

Dans ces conditions, il n'y a pas lieu de s'étonner que les considérations abstraites et à échéance lointaine aient été négligées au bénéfice d'un présent impérieux.

ELÆIS GUINEENSIS, Jacq. (*Palmier à Huile*).

L'introduction de l'*Elæis Guineensis* en Extrême-Orient remonte à 1848. Deux des quatre graines plantées à la station de recherches de Buitenzorg, à Java, provenaient des îles Maurice ou Bourbon; les deux autres provenaient du Jardin Botanique d'Amsterdam.

Des graines furent distribuées aux planteurs pour essai, dès 1859. Toutefois, la première plantation ne date que de 1910. Elle fut ouverte à Sumatra sous l'impulsion de M. A. Hallet, promoteur de la culture de l'*Elæis* en Extrême-Orient. La plus grande partie des graines utilisées provenaient d'ailleurs des sélections ramenées du Congo par le groupe Hallet, devenu depuis le groupe de la Société Financière des Caoutchoucs.

En 1911, le même groupe importait quelques graines de Sumatra, en Malaisie britannique, et créait la Plantation d'essai de Rantau Panjang.

Actuellement, il y a plus de 100.000 hectares d'*Elæis* en Extrême-Orient, dont 95 % ne furent plantés qu'après la guerre.

B. — TENDANCES SYLVICOLES

Ces deux cultures malaises qui nous intéressent sont donc très jeunes. Dans les deux cas, on a essayé d'acclimater une espèce forestière à un habitat complètement différent.

Les principales conditions pour l'expansion rapide étaient la simplicité des méthodes et la facilité de contrôle de ces superficies immenses, dirigées par une poignée d'hommes (On en arrive même à dépasser le chiffre de 1.000 hectares par planteur européen.)

Le défrichage consistait en un incendie de la forêt, aussi

complet que possible. L'entretien : un sarclage intégral, dit « propre », exposait le sol nu aux rayons solaires. La matière humique ne put évidemment résister à tous ces traitements, et la fertilité décrut. Dans les terrains accidentés, l'érosion fit des dégâts graves, déclenchant une régression des cultures.

De 1920 environ, date en Malaisie, l'introduction du « Silt-Pitting » : digues, petits drains de contour, terrasses ouvertes à flanc de colline, pour retenir les eaux de ruissellement.

Plus tard, se développait avec une faveur croissante un sarclage, dit « sélectionné ». Quelques herbes, de faible développement, en majorité des graminées, genre *Paspalum*, étaient tolérées pour retenir le sol.

Ces deux mesures, heureuses dans l'ensemble, donnèrent des résultats irréguliers. Elles réduisirent le lavage, arrêtaient ou ralentirent les dégâts, mais, en aucun cas, ne rendirent au sol presque stérilisé, sa fertilité perdue.

Vers 1926-28, la fortune des plantes légumineuses s'affirma en Malaisie. Les résultats remarquables obtenus à Ceylan, à Java, puis à Sumatra, et en Malaisie même depuis 1922, incitèrent les planteurs à couvrir de *Calopogonium*, puis de *Centrosema*, de *Vigna*, enfin de *Pueraria*, leurs jeunes cultures.

Comme nous l'exposerons en détail, ces légumineuses, importées pour la plupart, ont donné en Malaisie des résultats très inégaux. Si l'on a pu considérer, souvent à tort, le problème résolu en ce qui concerne la couverture des jeunes cultures, il est resté à peu près entier pour les vieilles cultures. Les changements dans l'éclaircissement du sous-étage de la plantation en croissance, déterminent des conditions de vie défectueuses pour ces légumineuses qui aboutissent à l'érosion et à une régression du sol.

Bon gré mal gré, le planteur a donc été obligé d'admettre que, s'il voulait garder à son sol sa fertilité première, il lui fallait admettre une couverture de plantes non légumineuses. Celles-ci doivent pousser d'une façon relativement spontanée, être d'exigences faibles, de contrôle facile et de valeur améliorante pour le sol.

Après de longs errements, la technique des plantations tendrait donc à remettre l'Hevea ou le Palmier dans son habitat original, c'est-à-dire la forêt, et cela paraît logique. Les difficultés d'exploitation économique rendent le choix des plantes à adopter pour cette association artificielle, une affaire extrêmement délicate. On peut prévoir de nombreuses années avant d'atteindre à la solution idéale, qui variera d'ailleurs suivant le cours du produit.

On sait que l'Hevea, dans la forêt brésilienne qui réalise ses conditions naturelles de vie, ne se trouve jamais qu'en petits groupes de quelques unités espacées. L'obliger à vivre en plantations monotypes, maintenues en un certain état de propreté du sol, réalisera toujours pour cette espèce, des conditions très artificielles de vie. Ce n'est pas une raison cependant pour ne pas essayer de lui adjoindre des plantes satellites présentant un avantage par rapport au sol nu. On pourrait peut-être, à cet égard, multiplier les essais. C'est l'idée qui nous a guidée dans ce travail.

C. — MÉTHODES FORESTIÈRES

A ce sujet il convient de rendre hommage à un forestier Danois, M. Birkemose, qui fut le premier, en Malaisie, à apporter à la sélection des plantes adventices une méthode concrète, suivie de résultats pratiques indiscutables. Méthode et résultats sont indiqués dans un rapport du *Rubber Research Institute* (1932, p. 57).

Au cours d'une visite à Shanghai Pahang Estate, le 11 avril 1932, M. Birkemose nous a exposé ses moyens de sélection qui peuvent se résumer comme suit :

a) *Ne pas toucher au sol* : éviter le « silt-pitting » (fosses à limon) et ne pas utiliser d'outils dans la suppression des mauvaises herbes.

b) *Supprimer l'érosion et aérer le sol* par des plantes à racine pivotante, en couvertures étagées.

c) *Ne tolérer aucune plante aoûtée, à racines fasciculées et à tige traçante.*

d) *Supprimer les plantes acides.* M. Birkemose classait comme plantes acides celles dont la sève faisait virer au rouge l'indicateur universel B. D. H. (British Drug House). (Cette méthode est d'ailleurs peu adéquate.)

e) *Encourager les plantes à nutrition nitratée.* M. Birkemose utilisait à ce propos la réaction de la Diphenylamine sur la sève de la plante.

f) *Utiliser provisoirement les plantes à nutrition ammoniée.* M. Birkemose n'avait pas, nous a-t-il semblé, de méthode chimique à ce sujet. Il suivait simplement son expérience de forestier.

g) *Aider le reconditionnement des sols « acidifiés »* par couverture défavorable, grâce à une légère application de chaux : 600 à 1.000 kgs à l'hectare.



acébo des forestières de Mr. Birkemose.
(Couverture étagée typique à un stade relativement préliminaire)

*Photo extraite du rapport du
Rubber Research Institut.*

h) Laisser pousser *tous les jeunes sauvageons* d'Heveas tant qu'ils ne sont pas aotûs. Les casser quand ils aotûent, sauf les plus vigoureux qui seront greffés et remplaceront éventuellement les vieux arbres.

Le rajeunissement de la plantation devient un phénomène naturel et progressif.

Les vieux arbres, qui ne produisent pas assez, sont « cerclés » à la hache (assez profondément dans le bois) et ils tomberont d'eux-mêmes.

i) *Aucun contrôle phytopathologique* n'est appliqué. La nature fait son œuvre intégralement, donnant la préférence aux individus les plus robustes.



Un champ de quelques hectares, qui avait dû être retiré de la saignée trois années auparavant (écorce trop dure, rendement inférieur à 300 kgs-Ha., canopie en régression), donnait au moment de notre visite 800 kgs-Ha, et de la base des branches mortes, une nouvelle canopie très fournie s'était développée.

Cette étude n'a pas pour but de critiquer la méthode et de montrer ses inconvénients pratiques considérables si on devait l'appliquer intégralement sur des plantations de 4.000 à 10.000 hectares.

Nous n'avons pas non plus l'intention de discuter la valeur scientifique des essais de M. Birkemose. Nous les avons seulement considérés comme un appoint remarquable à la justification des théories de conservation et de régénération du sol. Nos études sur l'état et les besoins de nos sols étaient déjà assez avancées à l'époque de notre visite, principalement grâce à d'innombrables expériences d'engrais et de couverture, et aussi grâce à une cinquantaine d'analyses de sols que le « Rubber Research Institute » et le Département de l'Agriculture de Kuala-Lumpur ont eu l'amabilité de faire pour notre compte, avant l'ouverture de notre laboratoire d'analyse.

D. — PLAN DE L'OUVRAGE

Il est étudié dans ce travail : les plantes de couverture Légumineuses ou non-Légumineuses sous leur aspect physiologique et chimique, en rapport avec le sol qui les porte. Le

but est d'améliorer ou, tout au moins, de conserver à ce sol sa fertilité naturelle.

Cette étude est divisée en cinq parties :

- I L'introduction qui expose les conditions pédologiques, climatologiques, les façons culturales et l'état des sols qui en résulte.
- II Une étude sociologique des plantes non légumineuses et un essai de classification d'après leurs caractères favorables.
- III Une étude des plantes légumineuses utilisées et utilisables, comprenant une étude critique sur leur valeur améliorante.
- IV Une étude sur l'effet de l'acidité des plantes sur leur sol.
- V Une étude sur la valeur humifiante des plantes et une contribution chimique à la discrimination des plantes adventices.

Les deux dernières parties ont particulièrement en vue la recherche de critères chimiques élémentaires dont l'emploi sera apte à simplifier le travail de sélection.

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION AU SUJET

I. — Éléments pédologiques et climatologiques sur la Malaisie.

A) SITUATION

La Péninsule Malaise s'étend d'environ $1^{\circ} 1/4$ à $6^{\circ} 1/2$ de latitude Nord et de 100° à 104° de longitude Est. La plupart des plantations d'Heveas et d'Elæis se trouvant situées sur la riche côte Ouest, notre étude se rapporte tout particulièrement à cette zone. La zone Ouest, qui nous intéresse particulièrement, est en somme une bande étroite, bordée d'un côté par le détroit des Straits, et de l'autre par la chaîne des montagnes, qui est l'épine dorsale de la Malaisie britannique. Toutes les plantations de cette côte, sur lesquelles nos études se sont poursuivies, se trouvent relativement proches de la mer (50 kilomètres au plus).

B) CLIMAT

Le climat est chaud et très humide, sans saisons très marquées (ce qui n'est pas le cas pour la Cochinchine et Java). La température maximum est en moyenne de 32° C.; la température minimum, avant le lever du soleil, est en moyenne de 21° . Il y a environ 12 heures de jour et 12 heures de nuit par 24 heures.

C) PLUIES

La chute des pluies varie annuellement de 1.750 m/m à 4.000 m/m. La moyenne est de 2.500 m/m d'eau. Sur les plantations on remarque souvent une diminution importante des précipitations au cours des années qui suivent de grands abatages. L'équilibre ne se rétablit complètement qu'environ dix

ans après la dénudation par incendie, dite « ouverture » de la plantation.

L'intensité des pluies est importante. Il n'est pas exceptionnel de relever un taux horaire maximum de 150 m/m.

La mousson du Nord-Est commence entre septembre et novembre, et celle du Sud-Est vers mars-avril. Les plus fortes précipitations prennent souvent place en décembre et en mars, saisons préférées pour la plantation proprement dite. Entre mai et juillet, d'autre part, on bénéficie d'une saison relativement sèche, utilisée pour les brûlages.

L'humidité de l'air est très grande et descend rarement au-dessous de 80 %.

D) ELEMENTS GEOLOGIQUES

L'ouvrage de Scrivenor, sur la géologie de la Malaisie britannique, donne toutes explications utiles; nous en résumons simplement les points importants.

Les plus vieilles roches existant en quantités importantes sont des roches calcaires, datant de l'âge carbonifère. Citons ensuite une série volcanique, s'étendant dans l'Est de la Péninsule, qui serait postérieure. Puis, datent du Trias, plusieurs séries de collines de quartzite et de schistes, qui longent ou enrobent les îlots calcaires. A l'époque mésozoïque, vint le plissement central qui est, en quelque sorte, l'épine dorsale de la presqu'île.

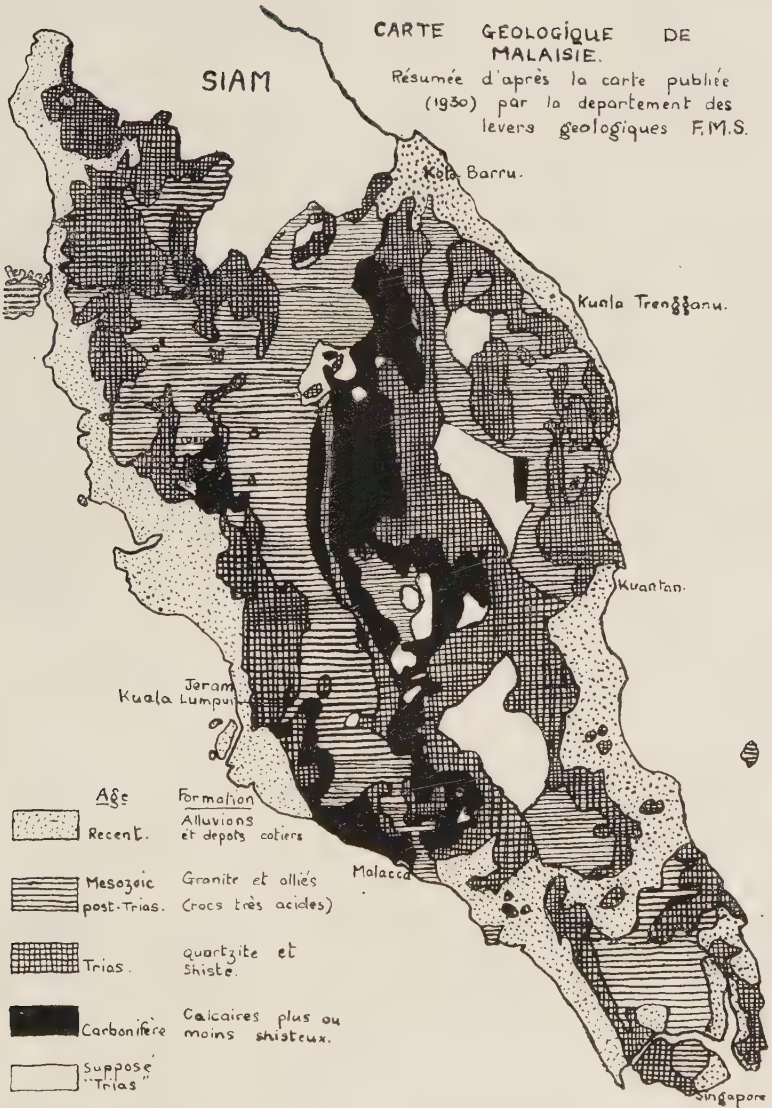
Les pieds des collines de quartzites viennent se noyer dans les terres alluviales et côtières, qui sont de formation récente. On trouve, en premier lieu, des terres sablonneuses, produit de la décomposition des quartzites. Puis, en se rapprochant de la côte, on rencontre les éléments fins qui doivent leur flocculation et leur dépôt à l'influence du sel de la mer.

Ces dépôts fins ont créé des argiles en général lourdes et imperméables dont la cote baisse, en se rapprochant du littoral. A proximité de celui-ci (0 à 50 km.), on trouve enfin les marais d'où l'eau ne s'écoule lentement que quand la marée est basse. Ces marécages (dont la profondeur peut atteindre 10 mètres), peuplés naturellement de Mangliers et de Palétuviers, couvrent de vastes étendues, et lorsqu'ils ne sont pas trop profonds offrent, une fois drainés, une couche d'humus extrêmement favorable à la culture de l'Elæis, voire de l'Hevea.

Il est bon de noter que ces dépôts organiques reposent parfois sur des argiles quartzites, assez sablonneuses.

CARTE GEOLOGIQUE DE MALAISIE.

Résumée d'après la carte publiée (1930) par le département des levés géologiques F.M.S.



D'une façon générale, on peut dire que la majorité des plantations ont été établies sur des collines de quartzite et de schistes, et sur des terres alluviales qui les bordent.

Les plantations que nous avons particulièrement étudiées se trouvent, *grosso modo*, sur les formations suivantes :

<i>Provinces :</i>	<i>Ages :</i>	<i>Formations :</i>
Johore, Selangor et Perak	Trias et Récent.	Quartzite et Schistes et Dépôts côtiers et alluvions.
Kedah	Mésozoïc, Post-Trias et Trias.	Granite et alliés et Quartzite et Schistes.
Pahang	Carbonifère, de Carbonifère à Trias, et Trias.	Schistes calcaires, Série volcanique de Pahang, Quartzite et Schistes.

Nous relevons dans un article de Denet (MAJ 1933, page 356) les propriétés de deux formations les plus importantes :

Sols granitiques. — Légèrement colorés, bien drainés et contenant des proportions presque égales d'argile et de sable...

Quartzites. — 1) Les sols de collines ont un bas pourcentage de sable grossier et ceci produit une texture fermée marquée par une absence à peu près complète d'agglomérats.

Ils montrent une variation considérable dans la proportion de sable fin, limon et argile et parfois révélant une couche mince de latérite de 2 à 5 cm. d'épaisseur à 45 cm. de la surface.

2) Les sols des vallées sont très variables et montrent souvent des éléments indésirables telles qu'argiles schisteuses carbonifères qui, à l'excès, donnent des sols ayant un grand pourcentage de carbone libre, à peu près complètement stériles. Il se trouve parfois du sulfure de fer qui, à « l'ouverture », sera oxydé avec formation d'acide sulfurique, aux effets désastreux...

II. — Méthodes culturales en vogue dans les plantations.

L'ère des ouvertures sur grande échelle ayant pris fin en 1929-31, nous résumerons en premier lieu les méthodes qui ont présidé à l'établissement des plantations, jusqu'à cette date.

Les principes généraux ont d'ailleurs peu varié depuis le début du siècle. Le soin et la méthode donnés à la réalisation ont, par contre, très rapidement progressé d'année en année.

A) BRULAGE

La forêt, abattue en principe de 0 à 1 m. 50 au-dessus du sol, est brûlée (après 6 semaines au moins d'attente), dès que les conditions atmosphériques sont favorables. Un bon brûlage, affaire d'expert, ne laisse que des bois supérieurs à 12 cm. de diamètre. On recoupe alors le bois restant jusqu'à un diamètre donné, on met en tas et on rebrûle. (La tendance d'après guerre était de tout nettoyer, c'était le « Clean-Clearing ». Peu à peu on a admis de laisser aux agents naturels : termites, etc., le soin de nettoyer une grosse fraction des bois restants). Avant l'exploitation productive (cinquième année pour les Heveas, quatrième année pour les Palmes), un rebrûlage économique permet de se débarrasser de ce qui reste. Certaines Sociétés, dont la Socfin, laissent donc, au cours des premières années, tous les bois de diamètres supérieurs à 15 cm., ce qui présente un avantage notable dans la défense contre l'érosion et une certaine réserve de matière organique.

B) PERIODE NON EN RAPPORT

Autrefois, le sol était laissé nu et sans défense contre l'action destructrice des éléments. Depuis 1926, les Légumineuses traçantes sont généralement utilisées, pour y remédier : *Calopogonium mucunoïdes*, *Centrosema plumieri*, *Centrosema pubescens*, *Pueraria phaséoloides*, *Vigna oligosperma*. Lorsque les Légumineuses sont semées dès le lendemain du brûlage, elles se développent très rapidement, car les cendres, très riches en produits solubles, subsistent. Le prix d'établissement ne dépasse pas alors 50 à 120 fr. l'hectare.

La plantation des Heveas ou des Palmes, suit de peu dans les trous remplis, à cet effet, de terre superficielle. Des trous réguliers de sarclage ont pour but de retirer tous les rejets et plantes adventices, afin de laisser le champ libre à la ou aux légumineuses choisies.

Il est fréquent que dans les anciennes clairières de forêt le sol soit recouvert d'une graminée extrêmement nuisible et dif-



ABATTAGE.



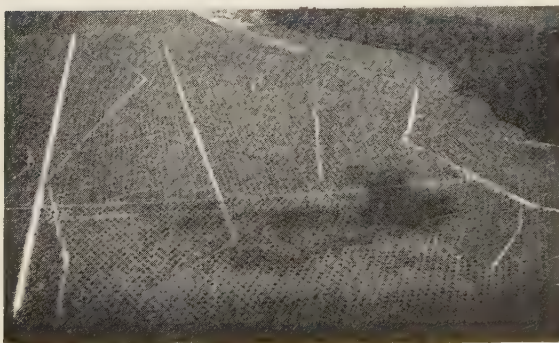
Etat de la Plantation après le rebrûlage des bois
de moins de 15 centimètres de diamètre.
Les semis de *Centrosema* commencent à couvrir le sol.



Apparence d'une plantation d'Elaeis de 18 mois.
Les terrains ondulés sont couverts de Centrosema; les
terrains plats sont nus.



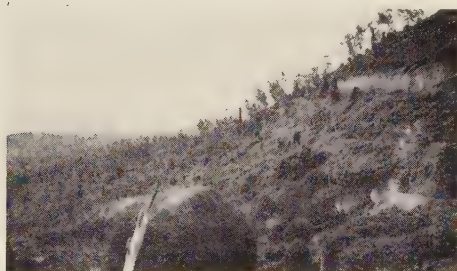
Plantation des Elaeis en terrasses.
(Couverture de Centrosema)



Drainage d'une Plantation d'Elaeis de 2 ans
(Terre de marais à sous-sol de glaise)
(Couverture de petites herbes adventices bénignes
(succulents, etc...))



Mise en tas du bois restant avant maturité des Elaeis.
(Palmes de 3 ans)



Jeune Plantation de greffes d'Hevea
en collines (2 ans)
(Couverture de Centrosema dépourvu de
nodosités)



Vue aérienne d'une vieille plantation d'Hevea.



Expérience de Plantation sans brûlage.
Ouverture de raintices dans l'abattage.



Envahissement par des Légumineuses tra-
çantes de champ d'expérience « Plantation
sans brûlage ».

ficile à éliminer complètement. Cette graminée, l'*Imperata cylindrica* (Lallang), nécessite alors des opérations coûteuses de labourage. Celui-ci est extrêmement nuisible au sol, car le peu de matière organique restante est alors détruite. D'aucuns ont aussi appliqué un labourage dans un but phytopathologique, d'ailleurs mal justifié.

Les opérations d'ouverture comprennent également tout un programme de drainage, destiné à permettre l'évacuation des eaux en excès et à améliorer la texture des terres lourdes.

Sur les collines, des réseaux de diguettes, plates-formes, etc... sont creusés, afin de ralentir le lavage, de retenir le limon et d'améliorer la texture du sol.

C) PERIODE DE RAPPORT

Aucune méthode satisfaisante, généralement parlant, n'étant encore trouvée, celles en vigueur actuellement sont diverses et plus ou moins adéquates :

Dans les vieilles cultures en collines, qui n'avaient pas bénéficié d'un départ sous couvert de Légumineuses traçantes, la situation devenait inquiétante. Certains planteurs avisés ont donc été amenés, bon gré, mal gré, à laisser croître certaine végétation spontanée afin de retenir le sol. Beaucoup de pentes se couvrirent alors d'une grande fougère très vivace : *Gleichenia linearis*. Celle-ci, abandonnée à elle-même, ne prend pas de proportions inquiétantes pour l'exploitation, quoique atteignant 3 mètres. Recoupée annuellement, ou mieux, plus fréquemment, elle n'est pas gênante et on peut même la faire régresser. Nous étudierons cette fougère dans un autre chapitre. Disons cependant que nous la considérons comme défavorable au sol qu'elle appauvrit, sans l'améliorer.

D'autres plantations ont préféré une autre cryptogame vasculaire de développement plus modeste, le *Lycopodium cernuum*. Moins exigeante et moins agressive que le *Gleichenia*, elle est utile dans les sols très pauvres, pour les préparer à recevoir des espèces moins primitives.

D'autre part, l'emploi de cette Lycopodinée comme couverture permanente tend à l'infertilité. Son effet physiologique sur le sol est nettement appauvrissant.

D'autres plantations ne laissèrent pousser que des graminées genre *Axonopus compressus*, *Paspalum*, etc... dont les racines touffues s'agrippent au sol d'une façon intense. Nous con-

naissions même des exploitations où des sommes considérables furent dépensées à cet effet sans grands résultats. Nous exposerons ultérieurement les raisons qui nous font condamner la majorité des graminées.

D'une façon assez générale, on fit également des travaux de protection pour ralentir le lavage.

En un mot, si on arriva à diminuer l'érosion, on ne réussit pas à reconstituer la fertilité des sols. Il est à noter que, d'ailleurs, les Heveas souffrirent beaucoup moins de cet état de choses qu'on pourrait le supposer, du moins dans les bons sols. Dans d'autres, plus pauvres, les couronnes s'étiolèrent, le feuillage perdit ses couleurs foncées. L'écorce durcit et se renouvela très mince, rendant la saignée difficile, sinon impossible. Les Palmiers, plus exigeants, ne s'accommodèrent pas du tout de cet état de choses et donnèrent sur les collines des productions dérisoires.

De gros efforts furent tentés pour acclimater les Légumineuses dans les vieilles cultures. On essaya toutes les méthodes connues; aucune des Légumineuses traçantes, citées plus haut, ne put se nourrir de ces sols érodés, à l'abri de la lumière. Dans les ravins, là où l'humidité était plus grande et le sol plus riche, les Légumineuses se répandirent peu à peu. (Nous reportons, dans un chapitre ultérieur, le résultat de nos expériences d'établissement de Légumineuses sous vieilles cultures.)

Dans les plantations plus récentes, ayant bénéficié d'un départ sous Légumineuses, on a assisté à une régression notable de celle-ci, dès que les canopies des arbres devinrent jointives (4 à 5 ans). En terrains plats, où le lavage est peu ou pas à craindre, ce phénomène était, sinon favorable, du moins peu regrettable. L'exploitation en était facilitée notablement sans que le sol fût trop exposé.

En terrains accidentés, au contraire, le phénomène eut des conséquences désastreuses, car l'humus, péniblement gardé, s'éroda très vite. (Des apports d'engrais, principalement en phosphate, ne présentaient qu'un palliatif coûteux). On fût alors forcé d'admettre, au sein des Légumineuses déclinantes, des représentants de plus en plus nombreux d'une flore moins exigeante en lumière. (La population herbacée se présentant spontanément dans de tels sols est, en général, moins primitive que dans les cas des sols érodés.)

D) NOUVELLES TENDANCES

Il se révéla bientôt que ces méthodes étaient loin de donner complète satisfaction. Celles-ci, loin de conserver, ou même de restituer au sol sa fertilité naturelle sous forêt, tendaient vers un appauvrissement graduel.

D'autre part, des essais que nous relaterons au chapitre III, ont montré que même pendant ses années de plein développement, la Légumineuse traçante manque souvent à son rôle « d'enrichisseur en azote ». Ses besoins importants de minéraux et d'eau, en font un commensal bien gênant pour l'Hevea et surtout pour le Palmier à Huile. Enfin, les amas de débris, s'entassant entre le sol et la couche vivante des Légumineuses, sont dans bien des cas d'une utilité discutable pour le sol, qui manque ainsi de bonne aération. En effet, l'exploitation économique d'une plantation ne permet pas les labourages, qui, en dehors de leurs prix élevés (100 à 300 fr. l'hectare), exigent un essouchage préliminaire (500 à 3.000 francs l'hectare). Enfin, le travail des racines des Légumineuses traçantes est très insuffisant en terres lourdes.

Toutes ces constatations ont développé au cours des dernières années l'emploi des Légumineuses dressées : *Crotalaria*, *Tephrosia* et, à un moindre degré, *Indigofera*, *Mimosa* et *Lamtoro* (*Leucaena glauca*). Ces arbustes, dont l'emploi est généralisé depuis longtemps dans les plantations de thé, firent merveille, techniquement parlant, dans beaucoup de cas. Malheureusement, ils nécessitent un contrôle, au moins semestriel, pour empêcher un développement incompatible avec les conditions d'exploitation normales. Ce recépage, qui peut coûter de 30 à 60 francs l'hectare, est un inconvénient économique. Enfin, le tout petit nombre d'espèces survivant dans une plantation à maturité, a empêché la résolution du problème technique.

Au cours des dernières années, on expérimenta donc presque partout des méthodes diverses.

Le chaos est encore intense; il faudra de nombreuses années pour arriver à préciser une politique de méthodes culturales, satisfaisant à la fois l'Agronome et le Planteur. Signalons les essais les plus intéressants étudiés par la Socfin au cours des dernières années :

a) *Ouverture*. — 1) Abattage et nettoyage de layons parallèles dans la forêt, appelés : « raintices », de façon à se rapprocher le plus près des méthodes forestières. Pas de brûlage.

2) Abattage complet, nettoyage des « raintices » que l'on plante. Les débris forestiers ne sont pas brûlés mais on les laisse se recouvrir de plantes traçantes. Si possible, de Légumineuses, qui les aident à pourrir plus vite.

3) Abattage et brûlage complets, mais pas de rebrûlage. Alignement des bois non brûlés en courbes de niveau pour les pentes et en lignes parallèles pour les terrains plats.

4) Variante de (3), comprenant des mélanges variés de plantes de couverture, dites améliorantes : Légumineuses dressées et rampantes et non-Légumineuses.

5) Variante de (4) comprenant une plantation serrée d'Heveas, en lignes. Ceci permet de négliger le facteur phytopathologique et de traiter la plantation en exploitation sylvicole réelle. Entretien très réduit.

b) *Période de la plantation non en rapport*. — Toutes les recherches tendent à diminuer au strict minimum les frais d'entretien prohibitifs dans cette période de non-rapport.

La plantation serrée permet de n'attacher d'importance aux maladies que dans des cas épidémiques exceptionnels.

Le but est de trouver une couverture ne permettant pas au Lallang (*Imperata cylindrica*), de s'établir¹. Son développement ne doit pas nécessiter des coupes fréquentes et très onéreuses.

Nous avons un millier d'hectares en tous sols et pentes variées, employés à faire des essais qui devraient nous mener au but recherché, d'ici quelques années.

Signalons que les Légumineuses dressées, comme le *Tephrosia candida*, semblent donner satisfaction, quoique moins économiques d'entretien que les Légumineuses traçantes, genre *Pueraria*. Les plantes non-Légumineuses offrent, d'autre part, des possibilités très intéressantes. Ici, l'éclaircissement favorable permet d'établir une sélection importante et variée comme espèces.

1. Signalons que le Forest Research Institute est parvenu à récupérer des savanes d'*Imperara* par implantation de sauvageons de *Vitex*.

c) *Période de la plantation en rapport.* — Nous verrons plus loin que d'un point de vue économique stricte, les Légumineuses sont d'un établissement, et d'un maintien onéreux sous les vieilles cultures.

Des méthodes dites « forestières », ont donc été essayées en assez grand nombre et un peu partout. Notre groupe a une dizaine de champs d'expériences diverses sous le contrôle d'un Agronome. Celles-ci devraient, dans un avenir plus ou moins rapproché, nous donner la sanction pratique, sur grande échelle, des observations et des expériences de laboratoires, que nous relaterons plus loin.

Le but est de trouver pour chaque type de sol la sélection de plantes la plus favorable. Elle ne doit nécessiter qu'un entretien et un contrôle minimes. Naturellement, ces plantes aimant l'ombre et, « civilisées », ne poussent que très mal ou pas du tout, sur des sols érodés et appauvris. Pour en permettre le développement, il faut donc éventuellement tolérer des plantes moins bonnes, mais plus résistantes, quitte à s'en débarrasser dès que possible.

III. — Etat du sol : Physique, Chimique, Biochimique.

A) INTRODUCTION

Nous avons trouvé pratique de diviser les différents sols, que nous rencontrons sur les plantations, en quatre groupes :

Argiles meubles, trouvées en terrains ondulés.
 Argiles latéritisées — — —
 Argiles épaisses — — plats
 Terres de marais asséchés, à haute teneur organique.

Il est évident qu'en pratique on rencontre toutes les classes intermédiaires, mais pour la clarté de notre exposé, nous n'en ferons pas mention.

Nous donnons, dans le tableau comparatif suivant, les résultats moyens de nos analyses sur ces différents types de sols.

Analyse Mécanique	Argiles meubles		Argiles épaisses		Terres de Marais	
	Max. %	Min. %	Max. %	Min. %	Max. %	Min. %
Gravier (>2 mm)	0.05	5.80	0.20	1.50		
Sable grossier (1 mm à 2 mm)	1.29	2.15	1.78	4.51		
Sable fin (0.2 à 1 mm)	47.75	73.21	16.54	42.12		
Limon (20 μ à 100 μ)	17.85	9.00	35.31	14.05		
Argile (<20 μ)	28.30	5.35	41.87	32.05		
Perte par solution	4.78	6.51	4.30	4.77		
	100.00	100.00	100.00	100.00		

Analyse chimique						
(1) C	4.14	0.50	5.56	0.09	14.5	6.50
(2) N	0.430	0.040	0.30	0.01	0.40	0.30
(3) C/N	13.00	7.00	18.00	13.00	29.00	13.00
(4) P ₂ O ₅	0.040	0.001	0.060	0.015	0.047	0.001
(5) K ₂ O	0.100	0.02	0.14	0.04	0.10	traces
(6) CaO	0.04	0.01	0.07	0.02	0.16	traces
(7) MgO	0.014	traces	0.012	traces	0.01	traces
(8) P ₂ O ₅ sol, en 2% citrique	0.020	traces	0.030	traces	0.020	traces
(9) K ₂ O sol, en 2% citrique	0.030	0.010	0.070	0.010	0.03	traces
pH. susp. Elect.	5.7	4.0	5.2	4.3	5.7	3.5
pH. Solu. Elect.	7.0	6.0	7.0	4.0	7.0	3.5

Nota. — a) Nous ne faisons jamais les analyses mécaniques des terres de Marais poreuses. Le traitement par H₂O₂ et HCl, conduit à des pertes par solution, qui rendent les chiffres obtenus fantaisistes.

b) Les analyses de latérite ne sont pas portées sur ce tableau. La marge de variation s'étend d'un extrême à l'autre. En principe, plus la latéritisation est avancée, plus la terre est pauvre en minéraux.

c) Nous ne parlons pas des terres sablonneuses qui, dans le cadre de nos études, sont assez rares. Physiquement, elles se rattachent aux terres de Marais; chimiquement, aux argiles meubles.

c) Dans les analyses chimiques, nous avons indiqué les teneurs maximum et minimum pour chaque matière. Les chiffres extrêmes ne se rapportent pas forcément aux mêmes sols.

B) CONSIDERATIONS COMMUNES A LA MAJORITE DES SOLS DES PLANTATIONS DE MALAISIE

a) *Considérations physiques.* — On notera que tous les sols étudiés ont peu de gravier et que la décomposition en est, en général, très avancée. D'un point de vue physique, ces sols peuvent se ramener à trois catégories, en bloquant les argiles lourdes et latérites.

Nous avons adopté, en accord avec les ouvrages techniques anglais, les appellations suivantes :



*Une section du laboratoire Socfin : Analyse mécanique
du sol et détermination de l'azote.*



*Préparation des herbiers et détermination colorimétrique
du pH.*

LE LABORATOIRE



Etude en Lysimètre des Sols types.

Sols sablonneux (sandy soils), moins de 5 % argile.

Sables glaiseux (sandy loam), de 5 à 10 % argile.

Glaïses (loam), de 10 à 20 % argile.

Glaïses argileuses (clay loam), 20 à 30 % argile.

Argiles (clay), de 30 à 40 % argile.

Argiles compactes (heavy clay), au-dessus 40 % argile.

b) *Considérations sur les éléments chimiques totaux.* —

On est étonné à première vue, de la pauvreté des terres. Pauvreté toute relative, d'ailleurs, puisque toutes nos expériences d'engrais chimiques donnent, du moins pour l'Hevea, des résultats nuls en bons sols et peu marqués en sols pauvres. Presque toujours le sol souffre avant tout, d'un appauvrissement organique dû à des méthodes culturales trop brutales. Les engrais que nous utilisons maintenant sur des milliers d'hectares ont pour but primordial d'établir des plantes de couverture choisies pour leur action physique améliorante et une importante production d'engrais verts. On arrive ainsi à reconstituer à la longue des sols érodés et appauvris et à rendre normales les productions insuffisantes. Insistons toutefois sur le fait que dans les terrains où la production est « bonne », aucune amélioration ne peut être enregistrée. Nous nous attendons d'ailleurs à des conclusions différentes à la maturité de nos jeunes cultures de sélection 2 F.

A titre indicatif, nous croyons utile de donner ici en kilos par hectare, le retrait annuel d'éléments nutritifs dans des cultures pleinement développées.

Culture	Production Annuelle Kgs / Ha	Kgs/Ha retirées par an		
		N	K ₂ O	P ₂ O ₅
HEVEA	400	4,5	0,28	1,4
	1000	11,25	0,70	3,5
ELEAIE	1100	100.00	120.00	21,7
	3000	127.00	167.00	32,50

Les besoins, quoique relativement faibles, sont plus marqués pour l'azote que pour les autres éléments. L'azote étant lié intimement au carbone, dans un rapport relativement constant, notre politique de reconstitution organique est donc justifiée théoriquement. Cela explique aussi notre précaution de ne donner au sol que des engrais verts ayant une teneur suffisante en azote. Ceci sera étudié en détail dans un chapitre ultérieur.

On pourrait supposer qu'au moins en ce qui concerne le

Palmier, les engrais potassiques fussent utiles. L'expérience n'a pas encore sanctionné cette opinion. L'addition de potasse, sauf dans certaines terres de marais probablement trop rapidement drainées, ne donne aucun résultat ou retarde les cultures. Néanmoins, il nous semble probable que lorsque les jeunes plantations d'Elæis à grand rendement vieilliront, ce besoin se dessinera.

La chaux, autre élément alcalinisant, semble elle aussi manquer. Le besoin en chaux vive déterminé par les méthodes usuelles, atteint 10 tonnes par hectare pour les argiles alluviales moyennement épaisses. L'expérience, là aussi n'a pas confirmé la théorie. En petites quantités, ne dépassant pas une tonne à l'hectare, la chaux est parfois utile. En quantités supérieures, elle détermine une régression plus ou moins importante de la culture principale. Nous n'en connaissons pas d'explication certaine. Soit que le sol soit trop pauvre en minéraux (particulièrement MgO), soit qu'une alcalinisation ne libère en excès des sels toxiques, soit que le calcaire n'insolubilise le fer disponible qui est en proportions infimes en certains sols; soit enfin que les plantes étudiées ne soient acclimatées, il est certain que la chaux ne joue pas en Malaisie le même rôle qu'en Europe.

Le phosphate est le minéral en insuffisance, et ceci est confirmé par l'expérience. La haute teneur en Alumine et en Fer est responsable du fait qu'il y a peu de phosphates disponibles. Notons que, dans la marge des pH considérés, le phosphate de fer est extrêmement insoluble. Il explique le succès des engrais phosphatés de fine mouture lentement solubles : Phosphates de roche, Scories, Guano, etc... L'épandage de ces engrais phosphatés est toujours rapidement suivi d'une amélioration considérable de la couverture et d'une refertilisation du sol.

La magnésie est également en très faible quantité. Il semble que ce soit cet élément qui souffre le plus des méthodes d'ouverture. Dans un cas particulièrement étudié, par notre laboratoire, alors que les sols de forêt avoisinants contiennent des teneurs de 0,03 à 0,06 % correspondant à un rapport $\frac{CaO}{MgO}$ = de 2 environ, le sol de notre jeune plantation bien couverte de légumineuses traçantes ou nu, ne contenait que 0,0021 % à 0,0041 % correspondant à des rapports $\frac{CaO}{MgO}$ = de 12 à 25.

Cette proportion très élevée n'est d'ailleurs pas générale. Dans les sols peu érodés, raisonnablement fertiles, le rapport 2 à 4 est assez fréquent.

Nous tenons peut-être ici une des raisons de la toxicité des chaulages normaux. En effet, M. Gedroiz (Ann. Agric.) a signalé l'effet nocif, en sols très acides, des fortes doses de CO_3Ca par suite de l'insuffisance de magnésium échangeable. La seule expérience, tentée par nous, d'addition de magnésie, n'a donné aucun résultat. Il s'agissait d'un sol côtier assez lourd, et cet échec perd sa signification du fait de la texture non satisfaisante du sol. Les expériences en cours nous éclaireront sur ce point.

c) *Considérations sur les éléments chimiques solubles.*

— On a remarqué la faible teneur en éléments solubles dans une solution à 2 % d'acide citrique. Il ne nous a pas été possible d'établir une corrélation entre les chiffres de l'analyse et le développement des cultures. Il est certain que les racines des plantes Malaises secrètent des solvants autrement puissants, que la solution à 2 % d'acide citrique. Nous étudierons ceci en détail dans un autre chapitre.

Indiquons ici que nous avons essayé d'appliquer la méthode Truog pour la détermination des phosphates « disponibles » (réf. citée). Truog emploie comme solvant une solution N 2/1000 d'acide sulfurique, tamponnée à un pH de 3. Cette solution est supposée avoir le même effet extractif que l'acide carbonique saturé (pH 3,7), exsudé par les racines. En effet, si cet acide saturé (environ N 40/1000) est 20 fois plus concentré que notre solution sulfurique, l'intensité de l'acidité de cette dernière est 5 fois plus forte.

pH 3,7 correspond à $0,2 \times 10^{-3} (\text{H}^+)$

pH 3 idem $1 \times 10^{-3} (\text{H}^+)$

Malheureusement, cette méthode ne semble pas s'appliquer à nos sols. On trouve des chiffres très faibles, 10 fois moins importants que le chiffre obtenu par une extraction à 2 % d'acide citrique et relativement constants pour tous les sols que nous avons étudiés.

d) *Le pH du sol.* — Le pH déterminé au potentiomètre avec la cellule au quinhydron sur une suspension eau/sol = 2,5 est en général compris entre 4 et 5. La variation du pH au

cours des opérations d'ouvertures n'est pas constante en tous sols. Dans certains cas, nous avons relevé une alcalinisation ($\Delta pH = 0,5$ à 1) attribuable à une libération de bases (brûlage, puis solubilisation des éléments grossiers). En d'autres sols, le pH semble rester constant, en dehors de périodes passagères (brûlages).

Si le pH en suspension est généralement très acide, le pH en solution (extrait dialysé, décanté ou filtré) est toujours voisin de la neutralité, sauf là où l'eau est stagnante. M. Belgrave (M.A.J. 1929, page 195), remarque que le manque de corrélation notable entre les valeurs du pH en suspension et extrait clarifié, est dû à la concentration très faible des solutions du sol. Celles-ci ne contiennent pas assez d'anions, pour transporter les ions Hydrogène en dehors du champ d'action des particules du sol. Comme corollaire, signalons que nos déterminations d'effettampon sur des sols normaux ont donné des chiffres très faibles. Dans un sol érodé de vieilles cultures nous avons estimé qu'il fallait en moyenne 3,7 grammes équivalents de HCl pour acidifier de $\Delta pH = 1$, une tonne de sol.

e) *Considérations biologiques.* — Nous avons effectué quelques dizaines de déterminations de population microorganique par la méthode du Plat de Pétri. Nous avons utilisé l'Asparagine-Manitol-Agar-Medium de Thornton

Nous avons trouvé par gramme de sol des populations variant de 100.000 à 400.000. Il y avait prédominance bactérienne pour les sols ombragés et couverts de plantes favorables. Dans les sols nus ou couverts de plantes dites « défavorables » (*Lycopodium cernuum*), la population était à prédominance fongicide.

M. Corbet (R.R.I. 1931-1) n'a que rarement trouvé des chiffres dépassant le million, avec nette prédominance de fungi, particulièrement dans les sols de forêt. Le maximum, 17 millions, fut enregistré au cours des opérations de brûlage. L'Auteur ajoute que 3 à 4 semaines après la cessation des opérations de brûlage, les bas chiffres ordinaires étaient de nouveau enregistrés. Dans le rapport annuel du R.R.I. 1929, page 17, il attribue ces hauts chiffres momentanés à l'influence alcalinisante des cendres. Dans le rapport annuel de 1930, page 98, il confirme le chiffre moyen de 1/2 million qui est relativement constant en tous sols : forêts, plantations d'Heveas sous couverture de *Centrosema*, sols nus. Un sol exceptionnel contenant de nombreux

vers (*Pontoscolex coretrurus* Fr. Müll.) a donné un chiffre supérieur au million, avec prédominance bactérienne.

Ces chiffres semblent faibles pour un climat favorable (température, humidité). Nous les expliquons par les considérations suivantes :

— La méthode du plat ne donne qu'une approximation pessimiste de la population microorganique. (M. Waksman, pages 4, 10, 13, 25, 37, 74, 694. 743.)

— Nos sols contiennent très peu d'énergie organique disponible en raison de méthodes brutales d'exploitation. On sait que l'humus résiduel n'est pas une source aisée de carbone (593, 606). Par contre, cette matière organique peut servir de source d'azote lorsque de l'énergie facilement disponible est ajoutée (605). Nous avons déjà vu que nos méthodes d'exploitation ne satisfont pas à ces conditions.

— La faible proportion de phosphates disponibles est un caractère très limitatif pour fungi et bactéries (principalement les bactéries fixatrices d'azote). (M. Waksman, pages 355, 364, 367.)

— L'acidité des sols est un facteur répressif pour les microorganismes, spécialement les bactéries (18, 220).

Etudiant un sol de vieilles cultures érodées, nous avons trouvé les résultats suivants :

Témoin : 210.000 organismes.

Sulfate d'ammoniaque (3 tonnes par Ha.) 212.000.

Idem plus chaux (6,5 tonnes par Ha.) (pH=7) 429.000.

Idem plus humus (28 tonnes par Ha.) 448.800.

Sulfate (3 t.) et humus (37 tonnes par Ha.) 288.400.

Nitrate de soude (3 tonnes par Ha.) 409.200.

Ces résultats, qui correspondent aux connaissances générales, montrent le peu de valeur de l'humus utilisé seul ou additionné de sulfate d'ammoniaque. (M. Waksman, pages 85, 669, 444). Nous voyons là l'explication de l'échec du sulfate d'ammoniaque qui fut utilisé seul, à grande échelle, il y a quelques années.

f) *Variations entre le sol et le sous-sol.* — Le sol des plantations, comme celui de la forêt, est en général beaucoup plus riche que le sous-sol (azote en quantité double à triple. Carbone, double à quadruple. Minéraux, plus élevés de 20 à 50 %). Il est aussi plus acide ($\Delta pH = 0,20$ environ).

Les minéraux solubles, par contre, sont d'ordinaire en teneurs plus élevées dans le sous-sol. Les exceptions sont nom-

breuses dans les jeunes cultures, *en collines*, couvertes d'un épais tapis de légumineuses traçantes. On peut supposer que :

(1) Il y a succion de minéraux solubles par les racines de la couverture, restitution et accumulation superficielle sous forme organique.

(2) Les besoins élevés en eau de la couverture peuvent, en certains endroits, déterminer une évaporatoire d'eau en excès sur la pénétration. Le sol se comporterait alors comme un sol aride typique.

Ayant déjà observé les méfaits de l'évaporation de certaines plantes de couverture, nous croyons à la possibilité simultanée des deux phénomènes.

Le rapport C/N est, souvent, plus élevé dans le sol que dans le sous-sol. Ce rapport indique qu'il y a en surface perte de carbone par combustion et fait supposer une nitrification accélérée.

Dans certains sols humides et à sous-sols peu poreux (par exemple à horizon de latérite), de même que parfois sous couvertures traçantes, ce rapport C/N est plus élevé dans le sous-sol que dans le sol. Nous attribuons ceci, à tort ou à raison, à une activité microorganique insuffisante.

g) *Variation du sol causée par nos méthodes de culture.*

— Nous étudierons ceci d'une façon générale au début du 3^e chapitre.

Nous donnons seulement, dans ce paragraphe, les résultats d'une expérience de culture en caisse qui représente assez bien l'effet de nos méthodes de culture.

Nous avons utilisé 6 sols de colline de couleur jaune-noirâtre (4 répétitions).

Une argile de forêt : A.

Une argile jaune-noirâtre de cultures d'Heveas de 4 ans, bien couverte de *Centrosema pubescens* (prélevée à proximité de A) : B.

Une argile glaiseuse jaune, prise au même endroit que B, mais en sol nu : C.

Une glaise jaune, prélevée à proximité des premiers dans une culture d'Heveas de 5 ans, n'ayant comme couverture que des graminées, genre *Paspalum* : D.

Une argile jaune, prélevée à proximité des premiers en sol d'*Imperata* : E.

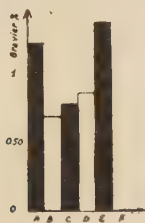
Une glaise de vieilles cultures d'Heveas nue et érodée : F.

Les caisses ont été déposées à proximité du Laboratoire,

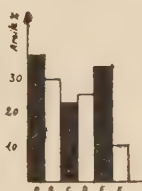
dans une petite clairière faite à cet usage, dans les vieilles cultures d'Heveas. L'exposition solaire diurne peut donc être considérée comme assez courte.

Analyse mécanique des sols

	Forêt	Centrosema	nu	Graminées	Imperata	Vieilles cultures érodées
	A	B	C	D	E	F
Matière organique retenue au tamis	4.20%	nil	nil	nil	nil	nil
Gravier	1.25%	0.60%	0.80%	0.88%	1.40%	nil
Sable grossier	2.08%	1.52%	1.22%	2.44%	1.44%	0.71%
Sable fin	43.54%	54.04%	54.80%	58.87%	43.74%	82.43%
Limon	4.65%	4.85%	11.09%	6.12%	18.90%	2.60%
Argile	37.60%	30.46%	23.61%	25.91%	34.70%	11.05%
Perte par solubilité	0.68%	7.74%	0.48%	5.76%	4.82%	3.21%
Total:	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



Réserves du sol
(gravier)



Effet de l'érosion
(argile)

Déductions. — Les réserves minérales s'épuisent au cours de l'ouverture.

La couverture de Centrosema semble contribuer à ce phénomène.

Les vieilles cultures érodées sont épuisées de réserves.

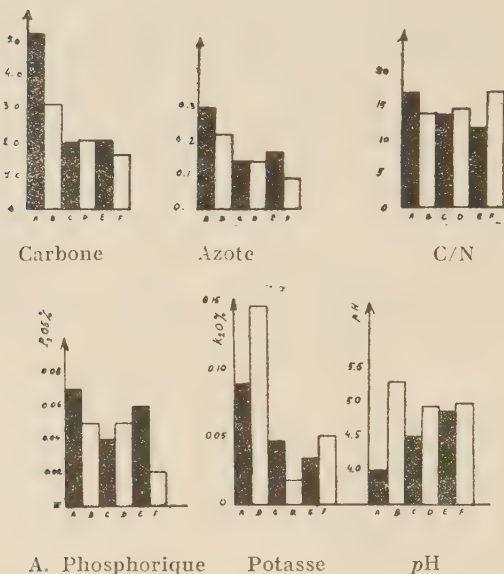
Le chiffre des réserves en sol d'Imperata est sujet à caution, en raison d'un début de latéritisation.

Les opérations d'ouverture semblent déterminer un retrait de l'argile par érosion.

Analyse chimique des sols

Les chiffres donnés pour C, N, pH, représentent la moyenne de 16 déterminations mensuelles au cours des 18 mois suivant la mise en caisse.

	Forêt	Centrosema	nu	Graminées	Imperata	Vieilles cultures érodées
	A	B	C	D	E	F
C	5,18	5,12	1,99	2,06	2,04	1,57
N	0,30	0,22	0,14	0,14	0,17	0,09
C/N	17,8	14,2	14,2	14,7	12	17,4
P ₂ O ₅	0,07	0,05	0,04	0,05	0,06	0,02
K ₂ O	2,09	0,147	0,048	0,018	0,034	0,052
pH	4,0	5,5	4,5	4,9	4,8	5,0



Déductions. — Les opérations d'ouverture déterminent une perte importante de C, N, P_2O_5 et de K_2O .

Le % de potasse en sol de *Centrosema*, semble anormalement élevé. C'est probablement attribuable à la solubilisation des éléments grossiers déjà notée (le gravier ne fait pas partie de l'analyse chimique).

La teneur relativement importante de potasse en vieilles cultures, est à rapprocher de la disparition totale d'éléments grossiers.

Le pH tendrait à s'alcaliniser par combustion de l'humus forestier et solubilisation d'éléments grossiers. Ces variations importantes de pH n'ont d'ailleurs pas été généralement confirmées par nos autres expériences.

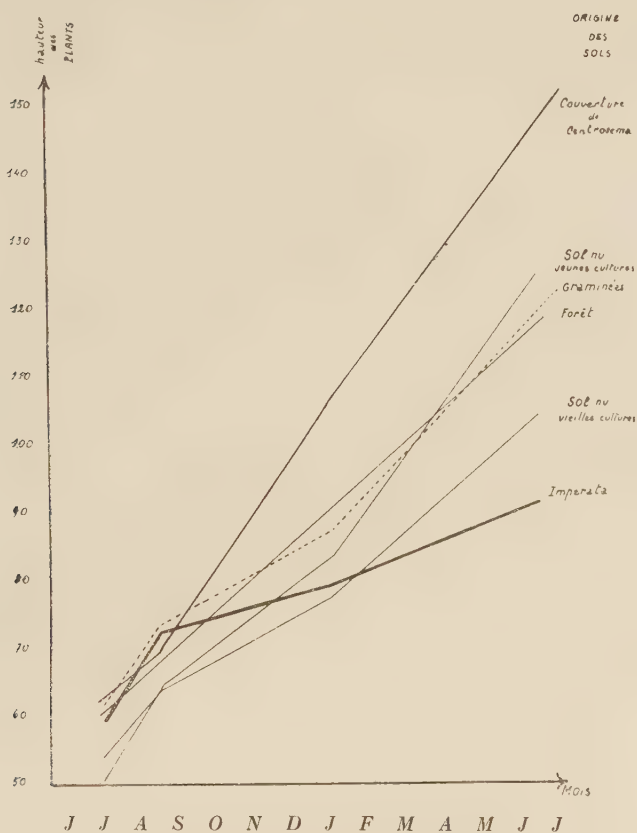
— Nous avons relevé des variations mensuelles de la teneur en N notables. Les plus hautes teneurs correspondent, pour tous les sols, au début de la saison humide de septembre, qui succède à la seule période assez sèche de juin-juillet.

— Au cours des 18 mois de durée de l'expérience, la teneur en carbone des sols reste étonnamment constante, ce qui démontre qu'avec un minimum de précaution, il est possible de maintenir au sol sa fertilité originale.

— Un léger ombrage, une porosité normale et pas d'érosion, sont les conditions premières de l'économie sylvicole.

Valeur pratique de ces sols. — Nous avons planté dans ces différents sols placés en caisses, des sauvageons d'Heveas

(10 par caisse), afin de nous rendre compte de leur valeur relative au point de vue plantation.



Croissance des jeunes plants d'Hevea en caisse.

Le diagramme de leur poussée en un an est joint, nous déduisons de sa lecture :

— Le sol de forêt se comporte relativement mal. Ceci pourrait s'expliquer par l'acidité. (Cette conclusion n'a pas été confirmée généralement par d'autres expériences.)

— Le sol de Centrosema est le meilleur. La haute teneur en potasse, le pH, sont probablement des facteurs utiles. (Conclusion non confirmée généralement.)

— Le sol nu, le sol des graminées et le sol de forêt, donnent des résultats semblables. Ces sols sont évidemment en condition biologique ou autre défavorable. (Conclusion confirmée pour les 2 premiers sols.)

— Le sol d'Imperata est le plus mauvais. Nos analyses ne fournissant aucune explication, nous reprendrons l'hypothèse classique de production de substances toxiques. (Cette hypothèse semble encouragée par d'autres expériences analogues.)

h) *Valeur pratique des analyses de sol.* — *Analyse chimique.* — Il est assez difficile, sinon impossible, de présager de la fertilité d'un sol de plantation, d'après son analyse chimique. Il est même souvent impossible de faire correspondre les hauts rendements observés à des hautes teneurs minérales. Il y a là un échec des méthodes classiques qui demandent instantanément leur révision.

Par contre, si les hautes teneurs ne sont pas des indices suffisants, les très basses teneurs en éléments totaux sont toujours des indices certains.

D'une façon générale, en sols normaux, nous négligeons souvent l'estimation des minéraux en faveur des indications de C, N et C/N, qui nous renseignent sur la fertilité du sol.

Dans les sols portant une croissance nettement anormale, nous rechercherons le manque quasi absolu de minéral, et éventuellement l'empoisonnement par la soude ou l'alumine libre.

MM. Mac Lean et Gilbert (Réf. citée) ont fait remarquer qu'en l'absence de phosphates, des quantités considérables d'alumine pouvaient rester en solution dans des milieux acides de pH 4,0 à 4,5 (même jusqu'à pH 5). Les auteurs indiquent 12,8 p.p.m. d'alumine libre, comme proportion toxique, causant des dégâts sévères aux plantes.

Comme l'alumine libre est un des caractères primordiaux de la latéritisation, il y a donc ici un élément limitatif dont la valeur n'a pas été étudiée, à notre connaissance, dans nos sols tropicaux.

L'expérience fait d'ailleurs supposer que la tolérance de certains végétaux originaires des sols acides : Hevea, Palmier, plantes indigènes, en particulier les graminées, est très supérieure à la tolérance d'autres plantes à préférence alcaline, en particulier les légumineuses importées.

Analyse mécanique. — Cette analyse a une valeur indiscutable, sauf pour les terres organiques et certaines latérites.

En particulier nous apportons toujours une attention très grande à la proportion d'éléments grossiers, qui représentent la réserve du sol. Avant d'entreprendre la régénération d'un ter-

rain, nous évaluons ses richesses encore inutilisées. Si elles sont notables, et c'est parfois le cas, la valeur temporaire et préliminaire des plantes à réactions acides comme le *Lycopodium cernuum* et le *Melastoma polyanthum*, sont indiscutables. Elles accélèrent le vieillissement de ces fractions, enrichissent les sols, et permettent le développement des espèces plus favorables.

C) CONSIDERATIONS PARTICULIERES AUX PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

a) *Argiles meubles*. — Ces sols ont généralement une bonne texture favorable à la croissance de l'Hevea. L'Elæis souffre souvent de sécheresse dans ces sols. On est alors amené à faire de nombreux travaux destinés à retenir les eaux superficielles dans le voisinage des racines du Palmier.

En terrains plats, un drainage judicieux règle la table d'eau, à la profondeur optimum, pour permettre un développement raisonnable des racines. La Potasse est toujours suffisante.

L'azote est en relation assez directe avec la matière organique. Parfois le « Clean-weeding¹ » et le lavage ont complètement ruiné la fertilité superficielle. Les pourcentages d'azote sont donc assez bas et les engrais azotés donnent des résultats, du moins pour la culture de l'Elæis.

D'une façon générale, l'acide phosphorique est en quantité insuffisante. Les engrais phosphatés, lentement solubles, donnent des résultats remarquables pour l'Elæis et l'établissement des Légumineuses.

On remarquera les faibles teneurs de magnésium.

b) *Argiles épaisses, côtières et alluviales*. — Terres d'un gris-bleu jusqu'à la table d'eau, et jaunes au-dessus.

Ces sols alluviaux sont caractérisés par l'absence complète de sable et leur mauvaise texture. Un réseau de drains serré est nécessaire pour y permettre la culture. Les arbres souffrent presque toujours de l'imporosité du sol. La quasi impossibilité d'abaisser suffisamment la table d'eau, rend la couche nutritive très mince, dès que l'on s'écarte des drains. Le chaulage n'a donné aucun résultat pratique. L'acidité de la terre correspond d'ailleurs à un état de floculation.

1. Clean-weeding; traduction littérale : sarclage propre.

Au point de vue chimique, ces sols sont en général plus riches que les précédents. Peu d'expériences d'engrais y réussissent. Seules ont donné des résultats, celles qui aidaient à l'établissement d'une couverture à racine pivotante. (Phosphates de roche.)

c) *Latérites*. — Les terres de latérite répondent à des analyses extrêmement variables. L'élément latéritique, à proprement parler, est inclus dans des argiles de compositions diverses. C'est, en principe, une formation rocheuse superficielle très uniforme. Elle est composée d'oxydes métalliques insolubles et caractérisées par une absence de silice combinée.

Tous les rocs composés de silice libre (quartz) ou combinée avec des oxydes métalliques (fer, aluminium, magnésium, calcium, potasse, soude) donnent, sous tous les climats par mise en solution des oxydes solubles, un silicate hydraté d'alumine, appelé argile. Dans les pays tropicaux, les conditions climatologiques extrêmes, permettent également le retrait de la silice combinée.

Il reste des oxydes insolubles d'aluminium et de fer, connus sous le nom de latérite. Ceci explique bien que la latérisation, comme la formation d'argile, est en somme une régression du sol, dont les éléments utiles sont entraînés. En pratique, heureusement, il y a aussi formation de composés secondaires à base de silice et plus difficilement décomposables.

M. Dennet signale (M.A.J. 1933, page 354) :

« *L'observation locale montre que la latérite peut être formée par mise en solution de fer et d'alumine du «sol», avec accumulation subséquente à un niveau inférieur.* »

Il est, en effet, peu rare de trouver dans les plantations, sous une couche de sol, friable, un horizon de latérite imperméable. L'explication semble difficile.

M. Scrivenor écrit (page 145) :

« *Certaines carrières de latérite reposent sur du granite, d'autres sur des phyllites, et d'autres sur des rocs sédimentaires altérés.* »

Page 158 il remarque que le terme « latérite » ne devrait s'employer au sens propre que quand le dépôt d'oxydes de fer est en surface en opposition avec le terme « podsol ». Il s'étonne, à juste titre, que ce même terme ne puisse pas s'appliquer aux couches de même formation que l'on rencontre souvent à des horizons inférieurs.

Le département de l'Agriculture (1919, p. 179 et 1933, page 355), tourne la difficulté en appelant ces sols « Raub serie high level ». Ces sols présentent une couche épaisse de latérite à 0,45 à 0,75 m. de profondeur.

La texture « en agglomérés » de ces sols rouges n'est pas défavorable malgré la haute teneur en argile.

D'après le département de l'Agriculture, ils répondent à l'analyse type suivante :

Analyse mécanique

Profondeur	Apparence	Argile	Limon fin	Limon	Sable fin	Sable grossier	Gravier	Pierres
50 cm	Jaune	41	9	3	18	25	8	nil
75	D°	45	7	5	11	20	10	5
82	D°	45	5	3	14	16	17	29
90	Latérite	43	6	3	10	20	18	32

Analyse chimique

Profondeur	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃
50 cm.	0.042	0.22	0.0308	0.0015	16.5
75	0.047	0.15	0.0316	0.0020	12.1

Tant que l'humus original n'a pas été brûlé par une politique de dévastation trop intense, une partie des sels solubles utiles reste fixée.

Dans les vieilles plantations, où le sarclage propre a été la règle, ce n'est malheureusement pas le cas. Le sol latéritisé semble mort jusqu'au jour où, au cours d'un programme de replantation, il est défoncé et enrichi en matières organiques par une culture de légumineuses dressées.

d) *Terres de marais*. — (Brun-noir en surface et noir rougâtre, en sous-sol. 80 % du sol est organique.)

Le mot « terre organique » serait plus exact car il s'agit d'un amas de débris organiques, plus ou moins en voie de décomposition. Ces débris, provenant d'une végétation de marais assez spéciale, ont été conservés souvent en parfait état. Ceci démontre les propriétés antiseptiques d'un milieu dont l'acidité atteint parfois un pH de 2,5. Les acides organiques qui se forment dans ces marais, mettent en solution la plus grande partie des minéraux. Ils ne laissent, plus ou moins fixes, que des composés de phosphore et d'azote. La teneur en Potasse, Magnésie, Calcium que l'analyse révèle, varie donc dans des proportions importantes. Ceci dépend beaucoup de la façon dont le drainage a été effectué.

Lorsque la plantation a été rapidement asséchée par un drainage intense, la majorité de ces sels ont été entraînés. Au cours des années qui suivent l'assèchement, on constate un abaissement progressif du niveau du sol. L'activité microorganique intense brûle l'excès de carbone avec grand dégagement de CO_2 .

Au point de vue physique, ces terres sont trop poreuses. Il n'est pas rare de voir les Elæis souffrir de la sécheresse, là où le drainage est trop profond. Assez souvent, heureusement, ce terreau est mélangé à l'argile épaisse du dessous. Ces argiles à haute teneur organique sont alors d'une fertilité extraordinaire. Elles conviennent particulièrement à la culture de l'Elæis : (rendements augmentés de 50 %, sur terres d'argiles meubles ordinaires).

L'humus, ayant un pouvoir absorbant de l'eau assez élevé, on est souvent surpris de constater la mauvaise tenue physique de ces terres humiques. Il est bon de noter ici que cet humus, exposé à l'action directe du soleil, présente rapidement un phénomène irréversible. Les débris organiques se couvrent d'une sorte de matière *cireuse*, qui empêche ultérieurement l'absorption d'eau.

M. Corbet indique (R.R.I. rapport annuel 1930, page 99) l'importance de la présence de cire et de graisses (« *waxes and fats* ») dans les sols exposés au soleil. Dans une ouverture âgée de 2 ans, il a trouvé 0,16 % de produit soluble par le chloroforme. La moitié consistait en acides gras. Le lavage au chloroforme a fait passer le coefficient de fertilité de 11,3 à 14,3. Dans un sol très organique il a trouvé des proportions beaucoup plus élevées (chiffre non indiqué), dont 60 % étaient des acides gras. (Voir aussi Waksman, page 686.)

A titre indicatif, nous donnons ci-joint un relevé d'analyse d'eau de drainage effectué par nos soins, sur une de nos plantations de Selangor. Nous avons comparé deux surfaces plates plantées depuis environ 10 ans. L'une en terre de marais asséchée, heureusement assez riche en argile; l'autre en terre d'argile épaisse. Les méthodes culturales ont été particulièrement soignées pour la surface en terre de marais; légumineuse, etc... De ce fait, le cas est loin d'être extrême. On remarquera néanmoins, qu'en terre de marais, la déperdition en minéraux est beaucoup plus intense. La moitié de l'azote qui s'y trouve est emportée sous forme de nitrates, tandis que dans l'argile épaisse, la nitrification est 34 fois plus faible.

Nous avons indiqué que l'acidité pouvait atteindre un pH de 2,5. Il est bon d'ajouter que ceci est assez exceptionnel, et

qu'en général un pH de 3 est de règle. M. Dennett (M. A. J. 1932) a observé que les débris végétaux frais que l'on trouve dans le sous-sol, émettaient des dégagements sulfurés. En particulier H_2S . Là où l'exploitation du *Nipa fruticans* Wurm (Palmaceae) est intense, le phénomène est particulièrement remarquable. L'acidité augmente avec l'aération « due à la conversion des composés sulfureux en acide sulfurique libre ».

ANALYSE D'EAUX DE DRAINAGE PROVENANT DE DEUX SURFACES PLATES CONTIGUES

	pH	N	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Solides	Carb	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₄	CaO	Remarques
Argile nue	3,75	2,75	1,5 P.P.M.	N11	0,005	4,16	0,01	0,78	0,17	0,82	3,04	0,01	parts par 10.000
Kilogs par Hectare par an		1.704	9,37	"	5,05	2.600	6,25	487,5	106,2	512,5	1.900	3,25	L'eau ne s'écoule librement que 12 heures sur 24. (Vannes automatiques)
Terre organique couverture de légumineuse tréçante	3,78	0,13	25,30 P.P.M.	N11	0,298	7,76	0,08	1,71	0,74	1,4	6,76	0,13	parts par 10.000
Kilogs par Hectare par an		192,50	312,00		372,0	9.700	100	21,37	925	1.750	8.450	182,50	L'eau s'écoule librement 24 heures sur 24.

ANALYSE MOYENNE DES SOLS CONSIDERES

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	C/N	pH
Argile: (jaune en surface, S Grisse en sous sol) en	0.30 0.20	0.055 0.040	0.110 0.115	4.20 3.20	14.0 16.0	4.23 4.06
Terre organique	8 **	0.0704 0.0192	0.140 0.085	14.0 8.31	16.0 29.7	4.00 3.80

DEUXIEME PARTIE

ELEMENTS DE SOCIOLOGIE

SUR LA VEGETATION ADVENTICE

DES PLANTATIONS

I. — INTRODUCTION

Nous nous référons, en fait de sociologie végétale, à l'ouvrage récent de M. Braun-Blanquet.

Nos travaux ont eu, d'ailleurs, une orientation si particulière, que le terme « sociologie » ne s'applique qu'assez mal à nos observations, essentiellement pratiques. Nous cherchons à établir des associations contrôlées. Le but en est une amélioration du sol, aussi rapide et aussi économique que possible.

II. — CONDITIONS ŒCOLOGIQUES REGISSANT LES ESPECES

Chaque agrégation naturelle de plantes est, *en principe*, le produit de conditions œcologiques définies, présentes et passées, et ne peut exister que quand ces conditions sont remplies. Toutefois, parmi ces conditions, il en est certaines dont l'importance est prédominante : ce sont les conditions *d'exposition solaire, de fertilité du sol et d'humidité*. Il est bon de signaler, à ce sujet, que la plupart des herbes constituant la flore des plantations se retrouvent dans nos plantations d'Indochine (Cochinchine et Cambodge), ainsi que le souligne un herbier relevé par les soins de notre Service Technique. Elles se retrouvent également dans la flore adventice des plantations de thé de Java, ainsi que nous avons pu le constater sur place. L'ouvrage « *Javaansche Theeonkruiden* » (Réf. citée) en mentionne un grand nombre. Ceci démontre bien qu'il est souvent impossible d'attribuer à un sol particulier une flore particulière, du moins à propos des plantations d'Extrême-Orient. En effet, les sols des plantations, à Java, ressemblent bien rarement à ceux de Malaisie, et les sols indochinois sont entièrement différents : terres basaltiques rouges pour la plupart, à acidité moins mar-

quée et teneur en acide phosphorique plus élevée. Les climats sont nettement différents.

Il est assez fréquent d'entendre émettre l'opinion que toutes les plantes ont, grossièrement, les mêmes besoins en lumière, eau, CO_2 , mais qu'elles varient dans leurs besoins sélectifs et adaptation aux excès et manques.

Nous avons la preuve absolue que le facteur lumière est un des facteurs les plus sélectifs. Le tableau joint résume une expérience, où nous comparons sur un même sol, quatre répétitions en échiquier, des vingt-huit plantes les plus usuelles. Un coup d'œil révélera la différence des besoins en lumière.

Expérience de Colonisation forcée au Soleil

Sol: Glaise jaune. Plateau naturellement bien drainé.

Culture principale: Elaeis plantée en triangle équilatéral: 10x10

Age: 3 à 5 ans, 4 à 5 mètres.

Expérience: 3 répétitions par herbe, en échiquier, entre les rangées.

Herbes	Remarques sur l'Adaptation	Cause de l'échec
I Imperata cylindrica	bonne	
II Paspalum conjugatum		
III Paspalum Commersonii		
IV Digitalis longiflora		
V Eragrostis viscosa		
VI Hydrocotyle asiatica		
VII Mikania scandens		
VIII Erechtites		
IX Passiflora foetida		
X Portulaca oleracea		
XI Centrosema pubescens		
XII Pueraria javanica		
XIII Vigna oligosperma		
XIV Mimosa invisa		
XV Crotalaria anagyroides		
XVI Leucaena glauca		
XVII Tephrosia candida		
XVIII Clitoria cajanifolia		
XIX Hevea brasiliensis		
XX Melastoma polyanthum		
XXI Bulbostylis		
XXII Gleichenia linearis		
XXIII Blechnum orientale		
XXIV Cheilanthes farinosa		
XXV Cheilanthes tenuifolia		
XXVI Nephrolepis biserrata		
XXVII Lycopodium cernuum		
XXVIII Selaginella Sp		

Analyse Mécanique du Sol (limites extrêmes)

	Min.	Max.
Gravier	nil	nil
Gros sable	3.75%	3.50%
Sable fin	43.31%	44.98%
Limon	3.71%	0.80%
Argile	53.20%	30.20%
Parte par solution	16.03%	20.43%
	100.00%	100.00%

Analyse Chimique

C	1.99
N	0.10
C/N	19.90
P ₂ O ₅ tot.	0.0040
P ₂ O ₅ sol.	0.0022
K ₂ O tot.	0.1215
K ₂ O sol	0.0058
CaO	0.0252 sous sol
MgO	0.0140 sous sol
CaO	1.78
MgO	
pH	4.603

Les plantes aimant l'ombre ne se rencontrent, dans les nouvelles ouvertures, que dans des cas bien précis :

— Lieux ombragés par d'autres plantes adventices ou par des replis du terrain : *Cheilanthes*, *Lycopodium*, etc.

— Lieux fertiles, suffisamment humides : *Selaginella*, *Lygodium circinatum*, etc.

Nous avons également la preuve absolue que le facteur eau est très limitatif. Beaucoup de plantes adventices nuisibles : *Digitaria marginata*, *Eragrostis viscosa*, *Fimbristylis miliacea*, *Kyllinga brevifolia*, *Alternanthera sessilis*, etc..., disparaissent plus ou moins dès que le drainage est amélioré.

Le troisième facteur limitatif est la fertilité du sol. Cette fertilité, nulle en terres érodées et exposées, réapparaît, dès que les espèces les plus entreprenantes ont commencé à coloniser le sol : Fougères, Lycopodiacées, *Melastoma polyanthum*, etc... à l'ombre; la plupart des graminées, des composés, au soleil.

III.— ELEMENTS DE SYNGENETIQUE

Nous citons ci-dessous, quelques extraits, traduits de l'ouvrage de M. Braun-Blanquet, qui sont particulièrement d'actualité pour les problèmes que nous étudions :

« La Syngénétique étudie le développement et le déclin des communautés de plantes et cherche à découvrir les lois qui règlent leur succession...

« A capacités oecologiques égales, les plantes colonisatrices les plus favorisées, seront les premières arrivées, c'est-à-dire, les espèces des surfaces avoisinantes et celles qui ont des facilités spéciales de distribution...

« Les conditions climatologiques d'une région, déterminent si une accumulation de matière organique et d'azote est possible et si la couche superficielle du sol est sujette à une acidification croissante ou à une accumulation de sels... A ces limites extrêmes, deux séries principales peuvent être distinguées : une série *acidophile*, avec une acidification croissante; et une série *basophile*, avec accumulation de sels...

« Le gaz carbonique abondant de l'humus à absorption saturée, conduit à la formation de bicarbonates. Le calcium et le magnésium passent en solution et sont entraînés complètement, au fur et à mesure que l'humus est augmenté par l'addition d'une litière acidifiante par des plantes en touffes comme *Elyna myosuroides* et *Agrostis alpina*.

« Il en résulte un sol « *rendzina* », profondément et fortement acide... Un changement décisif est marqué par l'apparition de la touffe très *acidophile*, *Carex curvula*. L'humification de ce Cypéracée augmente la prépondérance des ions-hydrogène. Des changements im-

« portants dans le sol, s'ensuivent. L'échange des ions diminue les sels nutritifs. L'effet de l'humus sur la dispersion et son action comme colloïde protecteur, devient plus prééminent avec une acidité croissante. Les sesquioxides et l'acide silicique, SiO_2 , deviennent solubles et s'infiltrant profondément. Avec ceci commence la transformation du *rendzina* en *podsol*. Les espèces acidophiles ont maintenant un avantage décisif sur les neutrophiles et les basophiles. Leur développement peut être suivi pas à pas par la chute du pH... Il est intéressant de noter combien rapidement les espèces basophiles sont submergées par les acidophiles, sous certaines conditions, sur les sols calcaires nus dans les Hautes Alpes.

« Les arbres à racines profondes dépendent moins des changements apportés par la formation du sol, que les autres plantes...

« Les espèces qui influencent largement l'habitat ou en d'autres mots, les espèces très constructrices, influent aussi énormément sur l'existence de nombreux satellites. Leur disparition a comme conséquence nécessaire l'échange des espèces alliées...

« La constructivité » est un caractère qui s'exprime lui-même socialement et qui se distingue de l'agressivité. (Celle-ci étant plus autocologique, aide la plante à lutter et à vaincre dans la lutte pour l'existence.) Des espèces très permanentes n'ont, souvent, pas de valeur génétique, dans les débuts de l'association à laquelle elles appartiennent...

« De nombreux phénomènes naturels... ne détruisant pas complètement la végétation existante, ils causent des régressions et des retards. La régénération commence grâce aux pionniers primitifs, et continue par les séries successives... Chaque série complète conduit à un état final stable, le climax...

« Les communautés de plantes qui n'ont pas encore atteint le point terminal, le climax, et qui cependant, pour une cause indéterminée, restent longtemps stables et maintiennent leur individualité sociale, peuvent être appelées des communautés permanentes...

« Le climax lui-même, et ceci est important, n'est qu'une halte dans le changement continu de la composition de la végétation. L'application universelle de la syngénétique à la sylviculture et à l'agriculture, est reconnue depuis longtemps, mais son importance n'a jamais été montrée avec suffisamment d'emphase et ces sujets n'ont jamais été traités simultanément...

Nota. — Le texte original ne comporte pas d'italiques.

IV. — CARACTÈRES PHYSIOLOGIQUES AMÉLIORANTS D'UNE PLANTE

A) *Racines.* — Les racines pivotantes labourent le sol. Elles sont donc utiles dans les sols lourds.

Les racines fasciculées, touffues, retardent et même arrêtent l'aération. Elles ne sont donc utiles qu'en terrains trop poreux.

B) *Tiges*. — Les tiges dressées permettent les associations; les tiges traçantes sont moins généreuses.

Les tiges dressées sont plus favorables aux fortes évaporations que les traçantes; elles sont donc favorables aux terrains lourds. Les traçantes, par contre, sont favorables aux sols trop poreux.

Les tiges volubiles et les rameaux-vrilles ont leur utilité sur les sols fertiles exposés au soleil, où elles retarderont ou étoufferont les plantes agressives non désirables.

C) *Feuillages*. — Les feuilles larges, disposées sur des plans horizontaux parallèles, tamisent la lumière, aident l'évaporation. Si les plans ne sont pas horizontaux, la lumière est moins filtrée et la compétition est plus intense et laisse libre champ à un envahissement de plantes agressives peut-être non désirables.

La couverture traçante à feuilles souvent jointives, ralentit l'aération du sol. Elle correspond à l'évaporation minima. Très utile en sols trop poreux, elle est particulièrement défavorable en sols lourds.

D) *Agressivité*. — Dans nos observations phytosociologiques, nous avons cru devoir prêter une attention particulière à l'agressivité. En effet, l'économie d'une plantation ne saurait tolérer les plantes agressives que :

- 1) Si elles sont physiquement favorables au sol.
- 2) Si leur développement normal, au contrôle économique et facile, ne gêne pas l'exploitation.
- 3) Si leur agressivité n'exclut pas les plantes les plus désirables.

E) *Périodicité*. — Les plantations annuelles ou périodiques (époques de sécheresse), ont une valeur humifiante. Elles ne doivent, néanmoins, être admises qu'en association avec des plantes permanentes afin de ne pas exposer le sol.

F) *Capacité d'évaporation*. — Il apparaît probable, d'après nos observations, que la capacité d'évaporation est un caractère dont l'importance a été trop négligée dans l'économie des plantations.

D'après les chiffres de M. Hales, cités par M. E. Gain (page 92), il ressort que le rapport de l'évaporation à la sur-

face de la plante peut varier du simple au triple suivant l'espèce.

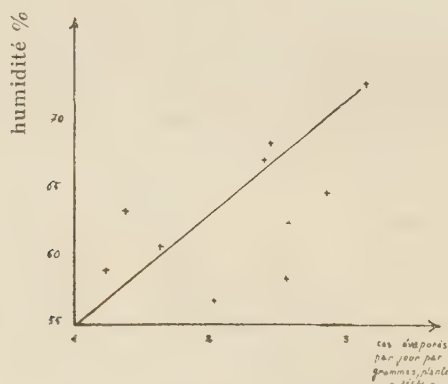
Le même auteur déduit des chiffres de M. Lawes et de M. Haberlandt qu'il faut de 166 à 455 kilogrammes d'eau par kilogramme de matière sèche.

Nos expériences en la matière ne font malheureusement que commencer.

Nous avons placé dans des éprouvettes de 500 cc. des quantités égales d'eau de pluie. L'éprouvette était fermée par du coton au travers duquel un syphon et la plante étudiée passaient.

Les quantités d'eau évaporées jusqu'au commencement du flétrissement ont été calculées en cc. d'eau par jour et par gramme de plante.

Plante	humidité %	CCS. évaporés par jour et par gramme de :		
		Plante fraîche	Plante sèche	Tige et feuille sèche
<i>Lycopodium cernuum</i>	67,3	0,79	2,41	2,76
<i>Gleichenia linearis</i>	58,4	1,07	2,56	2,92
<i>Crotalaria anagyroides</i>	72,6	0,86	3,12	3,33
<i>Aphrosia candida</i>	68,3	0,77	2,44	2,68
<i>Mevea brasiliensis</i>	59,0	0,50	1,22	1,61
<i>Paspalum Commersonii</i>	63,6	0,50	1,37	1,61
<i>Leucosena glauca</i>	57,1	0,87	2,02	2,12
<i>Melastoma polyanthum</i>	60,7	0,64	1,62	1,78
<i>Pteris ensiformis</i>	64,8	1,00	2,84	4,55
Témoin	nil	nil	nil	nil



Relation entre l'évaporation et l'humidité des plantes.

Il ressort du tableau et de la courbe que, dans le cadre de nos expériences :

a) L'évaporation peut varier du simple au double par gramme de plante fraîche.

b) L'évaporation peut varier de 1 à 2,5 grammes de plante sèche.

c) L'évaporation peut varier de 1 à 2,8 par gramme de tiges et feuilles sèches.

d) Il semble, qu'en première analyse, on puisse admettre que les plantes à haute teneur d'humidité sont celles qui évaporent le plus d'eau par gramme de plante sèche.

e) Le *Pteris*, le *Gleichenia* et le *Leucaena* semblent évaporer beaucoup plus d'eau que l'hypothèse (d) ne permette de le prévoir. Le *Pteris* et le *Gleichenia*, en particulier, semblent, relativement, de gros consommateurs. Le *Pteris* est le plus gros consommateur par gramme de tige et feuille sèche.

G) *Effets toxiques*. — Nous n'avons tenu aucun compte de l'effet toxique possible de certaines plantes, car dans tout ce qui a été écrit sur les plantes qui nous intéressent, nous n'avons jamais relevé de faits absolus.

A titre indicatif, citons quelques auteurs :

Rapport annuel du R. R. I. 1932, page 46 :

« Certaines herbes comme le *Lallang* (N. de l'A. : *Imperata*) et *Cattlegrass* (N. de l'A. : *Paspalum*), peuvent être suspectées d'effets toxiques spécifiques, mais si d'autres cas existent, ils ne sont pas encore prouvés. »

Vageler, dans « Tropical Soils », écrit :

« Certaines herbes tropicales, comme le *Lallang* (*Imperata cylindrica*), concourent vigoureusement à la formation de la pierre de fer (*Iron Ortstein*) dans les sols acides. Dans de tels habitats, on peut trouver, sous presque chaque touffe de *Lalang*, une formation de pierre de fer miniature, à laquelle aucune caractéristique type ne manque. »

Nos observations et analyses ne nous permettent ni de confirmer, ni d'infirmer ces observations.

Il semble néanmoins très probable que certaines plantes utilisées comme *couvertures uniques* : certaines Légumineuses et certaines Graminées, genre *Paspalum*, intoxiquent le sol à la longue, par certaines sécrétions. (Voir M. Prof. E. Gain, page 217).

H) *Effets chimiques.* — L'observation simple ne permet guère de se rendre compte de l'effet chimique des plantes pendant leur croissance et leur décomposition. Nous comptons sur les expériences organisées sur les plantations de notre groupe, pour apporter sur ces facteurs une lumière qui manque à l'heure actuelle.

Dans les quatrième et cinquième parties de cette étude, nous nous sommes efforcés de trouver des méthodes de Laboratoire simples et suffisamment précises pour prévoir, *a priori*, l'effet chimique des plantes sur le sol : solubilisation des éléments insolubles, acidification éventuelle des sols, rendement organique et rendement azoté des déchets, etc...

I) *Effets biologiques.* — Nous extrayons de l'ouvrage de M. Waksman « *Principes of soil microbiology* », les lignes suivantes se rapportant aux plantes en croissance :

« *Elles sécrètent des substances solubles qui peuvent offrir un médium favorable pour la croissance des micro-organismes. Sous conditions stériles, les plantes sécrètent des acides : formique, oxalique et malique, ainsi que des sucres réducteurs et non réducteurs. Les racines des plantes sécrètent aussi des phosphates et stimulent le développement des fungi.*

« *Elles fournissent les sources d'énergie et d'azote nécessaires aux microorganismes par leurs résidus : racines mortes, poils, etc...*

« *Elles changent la composition de la solution de sol et modifient l'activité des micro-organismes.*

« *Elles exsudent du CO² dans le sol... Elles absorbent l'humidité du sol, ce qui a une influence néfaste sur la croissance des microorganismes. Les racines des plantes modifient la structure du sol et produisent un médium plus favorable au développement des micro-organismes.* » (Page 767).

M. Schultz-Lupitz (M. Waksman, page 767), fut le premier à attirer l'attention sur le fait, que certaines plantes laissent le sol dans une condition plus fertile que d'autres, pour la croissance d'espèces différentes.

MM. Lawes, Gilbert et Warington (M. Waksman, page 770), furent parmi les premiers à noter que l'azote des sols non fertilisés, se nitrifie plus difficilement que l'azote de sols ayant produit de larges récoltes.

Une plante poussant de façon permanente sur un sol laisse

*Feuille échantillon des herbiers
distribués aux plantations
de notre groupe.*

INDEX N° 64

Nom TAMIL.....

Nom MALAIS..... BROBUS

ESPECE : ERECHTITES VALERIANIFOLIA

Famille : COMPOSITAE

Remarques : Herbe annuelle dressée, atteint 0 m. 60.
Bénigne — commune dans les terres en friche. Peut être tolérée en associations.
Plus utile en sols moyennement poreux qu'en sols lourds ou très légers.

Date : 26 mai 1933.

ORIGINE :

Plantation :

Division : III. T.D.

Champ : Expérience forestière.

PENTE DE TERRAIN : Nil, plat.

TYPES DE SOL :

Marais : Occasionnelle.

Sable : Occasionnelle.

Glaise sablonneuse : Fréquente.

Glaise argileuse : Fréquente.

Argile : Occasionnelle.

Latérite : Nil.

DATE DE PLANTATION : Rebrûlé, février 1933.

Couverture : Flore spontanée sélectionnée.

Méthodes de prévention de l'érosion ou drainage : Nil.



des résidus qui occasionneront un changement dans la composition chimique du sol. Ils influenceront à leur tour la flore bactérienne. Cette plante amènera le développement d'un fungi pathogénique qui rendra le sol « fatigué » pour cette espèce (769).

Certaines plantes favorisent certains types de bactéries et gênent les autres (769).

Il ressort de tout ceci que les plantes adventices pourraient donc se classer suivant leur valeur favorable aux micro-organismes utiles du sol. Cela demanderait une somme de recherches si considérable qu'il ne peut en être question.

Le phytosociologue devra s'en remettre à l'observation de quelques indices favorables : présence de vers (Waksman, pages 337 et 338), apparence du sol, sociabilité de la plante étudiée, etc... Les planteurs qui ont des surfaces expérimentales couvertes de plantes adventices ne tardent pas à préjuger de l'action biologique favorable de certaines plantes à mille indices difficiles à décrire que révèle l'observation constante de l'évolution des parcelles. Nos études sont encore trop récentes pour qu'il nous soit possible de proposer une méthode pratique concrète à ce sujet.

V. — CONDITIONS PRATIQUES D'APPLICATION

Il ressort de ce que nous avons exposé que les communautés sont assez artificielles dans le cas particulier qui nous occupe. La main de l'homme intervient constamment pour brouiller les cartes et malheureusement, il ne les brouille pas souvent en sa faveur. Le planteur n'est ni un botaniste, ni un phytosociologue; c'est un administrateur dont la responsabilité s'étend sur un monde de matières qui, en Europe, relève du spécialiste. Cet homme, omniscient, est essentiellement pratique. Il déteste les changements de méthode et tout ce qui l'éloigne de sa routine simple, sûre et bien organisée. La crainte des plantes agressives, genre *Imperata*, responsable de tant de

désastres, lui a donné la phobie de toutes les plantes adventices. Il y a quelques années encore, c'était une sorte d'orgueil pour un planteur de pouvoir dire : « *Je vous donne 10 \$ par herbe que vous trouverez sur mon domaine.* » Nous avons exposé les raisons du revirement d'opinions. Elles sont graves.

La phobie des plantes adventices est, néanmoins, restée si profonde, qu'il est exceptionnel de voir un planteur admettre sur son domaine plus d'une dizaine d'espèces différentes, espèces qu'il connaît à fond et qu'il laisse pousser partout sans considération de lieu, parce qu'il est sûr que leur développement ne sera jamais une menace.

Il y a quelques années, par exemple, au temps du sarclage « sélectif », on ne laissait pousser comme couvertures que quelques graminées, genre *Paspalum*, reconnues bien couvrantes et de faible hauteur. Le résultat fut un retard de la culture principale, variant de 1 à 4 ans, suivant la richesse des sols.

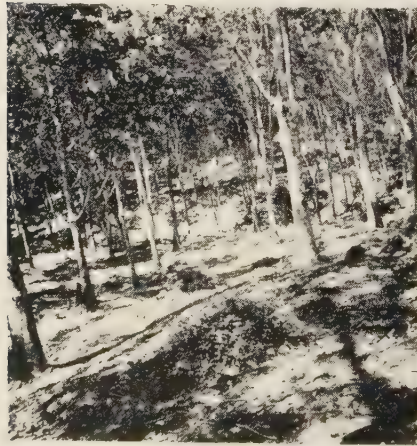
Le temps est venu de faire un pas en avant. Nous nous sommes attelés à cette besogne depuis plus de trois ans, avec résultats pratiques extrêmement encourageants. Guidé étroitement par le technicien, le planteur doit :

- être amené à connaître un nombre limité des plantes adventices choisies parmi les plus importantes;
- connaître leur valeur isolée et en associations;
- comprendre le processus d'évolution de la flore au fur et à mesure que l'habitat change;
- savoir ce qu'il peut tolérer temporairement;
- savoir ce qu'il faut toujours proscrire;
- connaître les espèces les plus favorables qui doivent être aidées.

Dans notre cercle d'action, depuis trois ans que nous étudions ces questions, nous avons vulgarisé la connaissance des espèces et de leurs valeurs relatives par la distribution d'herbiers. Chaque chemise, enclosant une plante, porte toutes les indications nécessaires.



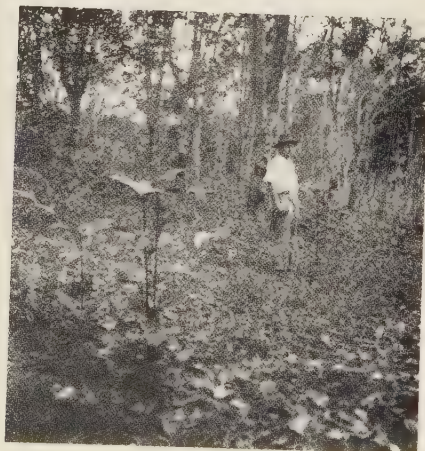
Vieille culture en régression (écorce dure) rendement tombés à moins de 350 kgs à l'Ha., canopie en régression. Couverture de Gleichenia recoupé et Lycopodium.



1^{er} stade de régénération
Suppression du Gleichenia et du
Lycopodium.



2^e stade de la régénération
Sauvageons d'Hevca et herbes primitives
(graminées, etc...)



3^e stade de la régénération
Les espèces favorables apparaissent, les graminées agressives
sont peu à peu éliminées.

VI. — ASSOCIATIONS-TYPES SE SUCCEDANT SUR UN SOL NOUVELLEMENT « BRULÉ »

Nous n'énumérerons pas toutes les espèces dans leur ordre d'apparence chronologique sur les sols nouvellement brûlés. La liste en serait trop importante. Elle serait aussi inexacte, car elle mettrait sur le même pied la flore intermittente et la flore commune à la majorité des sols et des profils de terrains.

Là où la forêt était relativement dense et suffisamment ancienne, pour qu'il reste peu de graines dormantes, on ne voit d'abord que des rejets de forêt et une germination active des graines *in situ*, représentant en général la fraction impatiente de la population forestière.

Les associations semblent varier largement suivant l'humidité du sol. Dans les endroits humides, apparaissent des variétés de *Musas* (bananiers sauvages), des *Palmes*, des *succulents* (*Portulaca*) etc...

Dans les endroits plus secs, des fougères apparaissent : *Cheilanthes*, *Nephrolepis*, *Dryopteris*, etc...

A proximité des clairières, en bordant les pistes forestières, les graminées envahissantes font un départ foudroyant : *Paspalum* sp., *Longiflora marginata*, *Digitaria* sp., et aussi *Imperata cylindrica*, plus lent, mais beaucoup plus dangereux. La légèreté et la profusion des graines font que ces tâches s'élargissent avec rapidité. En quelques mois, une plantation entière peut en être couverte. C'est parfois le résultat inattendu de la méthode d'exploitation dite « sarclage propre » qui, périodiquement, supprime toutes les plantes adventices sans y apporter de discrimination.

Les sarclages peu soignés donnent l'avantage aux plantes vivaces. Les sarclages normaux éliminent toutes les herbes sauf celles à floraison rapide, en particulier les graminées nuisibles qui couvrent vite le sol. Pour supprimer toutes les espèces, il faut éventuellement, pendant la saison des pluies, pouvoir tous les dix jours les arracher à la main, en terrains plats; tous les quinze jours, en collines. Ces méthodes aboutissent à des coûts de sarclage prohibitifs.

A proximité des kampongs¹, deux herbes éphémères se propagent rapidement : *Physalis minima* (Solanaceae), *Amaranthus viridis* (Amaranthaceae).

Là où la forêt était jeune, taillis confus dénommé « Blukar », on relève dans l'ordre d'importance :

Trema amboinensis (Urticaceae).

Maracanga (Euphorbiaceae).

Mallotus macrostachyus (Euphorbiaceae).

Commersonia platyphylla (Sterculiaceae).

Hibiscus macrophyllus (Malvaceae).

Melastoma (Mélastomaceae).

Morinda (Rubiaceae).

Vitex pubescens, *Vitex vestita* (Verbenaceae).

Lantana aculeata (Verbanaceae).

Adinandra dumosa (Ternstroemiaceae).

Grewia spp. (Tiliaceae).

Avec quelques Légumineuses :

Mimosae, etc...

Abritant un fouillis d'herbes, de plantes traçantes et des îlots d'*Imperata*, de *Gleichenia* l. et *Blechnum* o.

Au fur et à mesure que le sol érodé affirme son nouvel équilibre, on voit apparaître un peu partout, au hasard des ensemencements naturels, la flore classique des terres en friche et des ouvertures :

Drymaria cordata, *Emilia sonchifolia*, *Erigeron sumatrense*, *Synedrella nodiflora*, *Vernonia cinerea*, *Alternanthera sessilis*, *Amaranthus viridis*, *Euphorbia hirta*, *Borreria latifolia*, *Oldenlandia corymbosa*, *Oldenlandia diffusa*, *Phyllanthus niruri*, *Phyllanthus urinaria*, *Portulaca oleracea*, *Cyperus compressus*, *Eleusine indica*, *Kyllinga monocephala*, *Nephrolepis biserrata*, *Ceropteris calomelanos*, *Dryopteris truncata*, *Fimbristylis miliacea*, *Hydrocotyle asiatica*, *Mollugo pentaphylla*, *Scoparia dulcis*, *Eragrostis viscosa*, etc...

Nota. — On estime 600 graines par panicule d'*Imperata* et 1.500 millions par Ha. et par floraison. La germination prend cinq jours.

1. *Kampong*, mot malais signifiant : Agglomération rurale.

VII. — QUELQUES ASSOCIATIONS UTILES OU BÉNIGNES POUR LES OUVERTURES

De toutes les associations adventices poussant dans ces conditions difficiles, peu sont favorables. Citons comme utiles, bénignes ou seulement indifférentes :

Fougères : *Nephrolepis biserrata*, *Cheilanthes tenuifolia*.

Amaranthaceae : *Amaranthus viridis*.

Euphorbiaceae : *Euphorbia hirta*.

Caryophyllaceae : *Drymeria hirsuta*.

Portulacaceae : *Portulaca oleracea*.

Ficoïdeae : *Mollugo pentaphylla*.

Rubiaceae : *Borreria setidens*, *B. latifolia*.

Hedyotis capitellata.

Oldenlandia diffusa.

Malvaceae : *Sida caponifolia*, *Urena lobata*.

Compositae : *Vernonia cinerea*.

Ageratum conyzoides.

Artemisia vulgaris.

Emilia sonchifolia.

Gynura malasica.

Campanuleaceae : *Pentaphragma Scortechinii*.

Solanaceae : *Physalis minima*.

Solanum nigrum.

Scrophulariaceae : *Scoparia dulcis*.

En général, le développement des plantes adventices est fortement contrôlé par les sarclages périodiques et l'établissement d'une couverture. La couverture choisie est presque toujours une Légumineuse qui, trop souvent disparaîtra, quand la culture principale couvrira le sol. Parfois on utilise le *Mikania scandens* et la *Passiflora foetida*, en raison de leur développement, ou du moins, en ce qui concerne le *Mikania* en raison de sa tenue à l'ombre.

Cette pratique (sarclage propre dans la couverture) est nuisible. En admettant que la Légumineuse soit judicieusement choisie pour le sol considéré, elle n'offre aucune qualité de rotation et elle affaiblit peu à peu la fertilité du sol, jusqu'à l'empoisonnement.

Quand l'ombre vient et que la Légumineuse périclité définitivement, il ne reste dans le sol aucune graine de plantes adventices. Les sarclages successifs et propres ont placé le sol en état d'infériorité. L'érosion devient inéluctable, à moins que de grosses dépenses ne soient engagées pour maintenir la Légumineuse par des engrais.

En conclusion, il ressort donc nettement que, tant qu'on aura pas sélectionné des associations importantes de Légumineuses résistant à l'ombre, il faudra tolérer et peut-être encourager dans les jeunes cultures parmi les Légumineuses, les plantes adventices utiles aptes à provoquer ultérieurement un peuplement suffisant.

VIII. — ASSOCIATIONS-TYPES DANS LES VIEILLES CULTURES

L'ombre est le facteur limitatif. Elle exclut toutes les plantes auxquelles la lumière solaire est indispensable. La collection de celles s'accommodant de, ou préférant la lumière tamisée est néanmoins suffisamment vaste. Quand la plantation arrive à maturité sans qu'il y ait eu d'érosion et que le sol est « fertile », le problème est assez simple. Il suffira d'admettre ou d'introduire les espèces les plus favorables, au fur et à mesure que la couverture régresse. Quand, par contre, la plantation a été sérieusement érodée et c'est le cas assez général pour les vieilles propriétés, le problème est beaucoup plus compliqué.

On est bien obligé de tolérer des plantes défavorables au sol, car d'une façon générale, ce sont les moins exigeantes.

M. Birkemose a prouvé la valeur temporaire des jeunes plants d'*Hevea* pour retenir le sol et l'améliorer physiquement. Il est de fait qu'en sols érodés le développement est si lent, que cet arbuste ne demande aucun contrôle.

D'aucuns préconisaient récemment encore le *Gleichenia linearis*, le *Blechnum orientalis*, le *Melastoma polyanthum* et le *Lycopodium cernuum*, flore-type des vieilles cultures érodées. Nous ne pouvons admettre à aucun prix la première fougère qui ne permet pas aux autres espèces de se développer. Quant

aux trois autres plantes, elles ne sont à utiliser qu'en désespoir de cause et doivent être enlevées dès que d'autres espèces plus favorables se présentent. Notons que le *Lycopodium* est assez agressif et de retrait onéreux. (Frs 100, par hectare.) Nous verrons, au chapitre V, que sa décomposition en surface du sol est une des plus lentes et des moins utiles.

A ce sujet, signalons le paragraphe suivant dans le rapport annuel du R. R. I. (1933, page 63).

« ... une étude a montré que le stagmoss (*N. de l'A. : Lycopodium cernuum*) et à un degré moindre le Bracken (*N. de l'A. : Gleichenia linearis*) transpire beaucoup plus d'humidité du sol que les couvertures d'arbustes. Considérant le système superficiel des racines de stagmoss en particulier et de l'*Hevea* lui-même, dans les habitats où le stagmoss prédomine, il est probable que la présence de beaucoup de stagmoss aide la diminution du rendement en latex pendant les saisons sèches. »

Dès que le sol commence à se couvrir de végétation, il y a intérêt, quand la situation économique le permet, à épandre à la volée des phosphates. Cet épandage, qui revient à environ 100 francs par hectare, facilite le développement des meilleures espèces et tend à retarder nombre de phanérogames calcifuges.

On peut estimer que, sans engrais, un sol assez pauvre et très érodé peut retrouver une fertilité suffisante par sélection de cultures en quatre ans.

Les engrais permettent de gagner deux ans.

En conclusion. — Nous avons montré que l'économie rationnelle d'une plantation ne saurait s'accommoder de principes inflexibles en fait de sélection de plantes adventices. Le planteur doit connaître les espèces les plus fréquentes. Il ne prohibera définitivement que les espèces dangereuses : *Gleichenia l.* et certaines graminées (*Imperata*, *Axonopus*, etc...).

Au fur et à mesure du peuplement du sol, il éliminera toutes les espèces à contrôler : toutes les cryptogames, sauf le *Nephrolepis b.*, la plupart des graminées, etc...

Resserrant son choix, il restituera peu à peu au sol sa fertilité naturelle, sans laquelle l'avenir de sa plantation serait fortement menacé.

IX. — ASSOCIATIONS UTILES OU BENIGNES DANS LES VIEILLES CULTURES

Fougères : *Nephrolepis biserrata*, *Cheilantes tenuifolia*.

Caryophyllaceae : *Drymaria hirsuta*.

Malvaceae : *Hibiscus macrophyllus*.

Sida caponifolia.

Urena lobata.

Melastomaceae : *Sonerila begoniæfolia*.

Rubiaceae : *Argostemma pictum*.

Hedyotis congesta, *H. capitellata*.

Lasianthus sp.

Compositae : *Erechthites valerianifolia*.

Emilia sonchifolia.

Ageratum conyzoides.

Gynura malasica.

Vernonia cinerea.

Campanulaceae : *Pentaphragma Scortechinii*.

Myrsinae : *Maeca ramentacea*.

Logoniaceae : *Fragræa racemosa*.

Scrophulariaceae : *Scoparia dulcis*.

Amaranthaceae : *Amaranthus viridis*.

Nepenthaceae : *Nepenthes*.

Euphorbiaceae : *Euphorbia hirta*.

* *Hevea Brasiliensis*.

* *Macaranga triloba*, *hypoleuca*, *robiginosa*.

* *Mallotus macrostachyus*.

Urticaceae : * *Ficus fistulosa*, *F. alba*.

* *Trema Amboinensis*.

Graminae : *Cyrtococcum accrescens*.

Aroïdæ : *Homalomena humilis*.

Nota. — * signe indiquant que la hauteur peut éventuellement devenir une gêne.

X. — CARACTERES PHYSIOLOGIQUES DES CENT PLANTES ADVENTICES LES PLUS USUELLES

Nous avons réuni, au cours de ce chapitre, les principales observations que nous avons été amenés à faire sur les plantes adventices les plus usuelles. Les deux tiers de ces plantes, environ, sont aussi les plus courantes sur les sols normaux des plantations que nous avons visitées. Le reste, plus rare, est composé de plantes présentant des caractères favorables. Ces plantes, que nous avons remarquées dans nos champs d'expériences, semblent offrir de remarquables propriétés d'adaptation dès que la fertilité du sol est restaurée, même partiellement, par une suppression progressive des mauvaises espèces. Nous sommes persuadés que cette liste est très incomplète et qu'elle ne comporte que les pionniers de la colonisation. Lorsque nos sols auront atteint leur « climax », il n'est pas douteux que de nombreuses espèces à caractères désirables fassent leur apparition.

Nous avons utilisé pour l'identification des plantes : a) l'ouvrage de M. Ridley pour les Angiospermes ; b) celui de M. Beddome pour les Filicinées ; c) Theeonkruiden pour les Lycopodinéas. Ce dernier ouvrage nous a également été très utile pour beaucoup d'autres espèces, en raison de ses descriptions, gravures et observations physiologiques. Nous adressons à M. Mann, du Rubber Research Institute, nos remerciements pour avoir bien voulu identifier les nombreuses pièces d'un herbier qui lui a été confié, ce qui nous fait gagner un temps considérable. Nous n'avons pas pu toujours utiliser ses dénominations qui avaient probablement été extraites d'ouvrages que nous ne possédions pas.

Nous donnons, chaque fois que cela est possible, les noms Malais et Tamil, employés sur les plantations de notre groupe. Ces noms n'ont parfois qu'une valeur relative, car les appellations diffèrent souvent d'une région à l'autre.

Chaque fois qu'une espèce est commune à nos plantations d'Indochine, nous portons la mention « Indochine ». Lors-

qu'une espèce est citée dans Theeonkruiden, nous portons la mention « Java ».

A. FILICINEES (classe généralement défavorable).

a) GLEICHENIACEAE. — *Gleichenia glauca* Hook. Fougère à racines fasciculées étouffantes. Elle atteint 1 m. 50. Son habitat normal est à l'ombre sur des sols secs. A supprimer peu à peu.

Gleichenia linearis Clarke. (Malais : Resam bengkawan, Tamil : Peria meena.) — Racines très défavorables faisant un tapis impénétrable. Elle atteint parfois 6 mètres, mais sa hauteur normale est de 3 mètres. Cette fougère tolère mieux la lumière que la précédente. On la rencontre dans les plantations, surtout sur les sols secs et pauvres. Ses déchets présentent une résistance à la décomposition considérable. Cette plante, très envahissante et agressive, est à contrôler. (Java.)

b) POLYPODIACEAE. — *Schizoloma ensifolium* J. Smith. Racines et rhizomes très défavorables. Le développement ne dépasse pas 1 mètre. Son habitat normal est en lieux ombragés. A contrôler (Java.)

Cheilanthes tenuifolia Hook. (Malais : Resam padi, Tamil : Padi meena.) — Cette petite fougère annuelle peut être tolérée, malgré ses racines fasciculées. Elle ne dépasse pas au maximum 0 m. 60. (Java.) Habitat : sols secs et pauvres. Sa décomposition est relativement favorable.

Cheilanthes farinosa Hook. — Racines fasciculées en touffe, très défavorables. Son développement ne dépasse pas 0 m. 50. On rencontre cette petite fougère à l'ombre et en sols secs. A contrôler. (Java.)

Pteris ensiformis Burm. (Malais : Paku ladang, Tamil : Cutti meena.) — Cette petite fougère ressemble assez à la précédente à tous points de vue. A contrôler. (Java.)

Blechnum orientale Linn. (Malais : Paku ikan.) — Racines en touffes fasciculées défavorables. Le développement peut atteindre 2 m. 50. Son habitat normal est en lieux légèrement ombragés, secs et pauvres. Sa rapidité de développement peut, dans certains cas particuliers, rendre cette cryptogame utile; par exemple dans les pentes érodées, si elle est recoupée périodiquement, elle créera des conditions favorables pour des espèces moins primitives. La décomposition de cette plante est relativement favorable, ce qui la distingue des autres cryptogames vasculaires étudiées. Par contre, son système de racines et son développement la rendent peu avantageuse comme couverture permanente. Nous recommandons de la supprimer progressivement. (Java.)

Dryopteris arida O. Kuntze (cf. *Nephrodium aridum* Wall). — Racines fasciculées. Atteint 1 m. 20, mais dépasse rarement 0 m. 50. On trouve cette petite fougère dans les sols secs, moyennement fertiles, légèrement ombragés. A contrôler généralement; peut néanmoins être tolérée dans les terres poreuses. (Java.)

Nephrodium truncatum Hook. — Racines fasciculées et rhizome

court. Son développement varie de 0 m. 30 à 1 mètre. Même habitat que la fougère précédente, et mêmes conclusions.

Nephrodium urophyllum Hook. — Le développement varie de 0 m. 40 à 1 m. 20. Mêmes remarques et conclusions que pour la fougère précédente.

Nephrolepis biserrata Schott. — Petite fougère dépassant parfois 0 m. 60, elle atteint rarement 1 m. 20. Elle semble assez bien tolérer les changements d'éclairement, dans les sols raisonnablement fertiles. Ses racines fasciculées sont relativement bénignes et l'observation semble indiquer que cette plante a un effet de « constructivité » heureux, spécialement en sols légers. Nous ne la sarclons pas.

Taenitis blechnoides Hook. (Malais : Paku pijai.) — Les stipes et les racines ressemblent assez à celles du *Blechnum*. Son développement est plus modeste. Il varie entre 0 m. 60 et 0 m. 90. Cette fougère se développe en sols ombragés, secs et pauvres. Son développement racinaire nous a conduit à la supprimer généralement. Elle peut néanmoins être tolérée en sols légers.

c) SCHIZACACEAE. — *Lygodium microphyllum* Wall. (Tamil : Valli nerappu kodi.) — Fougère rampante à racines fasciculées, qui se développe en sols ombragés, secs et pauvres. Nous ne la tolérons que sur les terres trop poreuses.

Lygodium circinatum R. Sweet. (Malais : Paku jari merah.) — Mêmes remarques que pour la précédente. Elle tolère moins bien la pleine lumière. (Java.)

B. LYCOPODINEES (classe défavorable.)

a) LYCOPODIACEAE. — *Lycopodium cernuum* Linn. (Malais : Rumput serani, Tamil : Neruppu pundu.) — Petite plante mi-rampante, mi-dressée dont le système racinaire et les stolons sont particulièrement défavorables à l'aération du sol. En hauteur elle ne dépasse guère 0 m. 30. On la trouve particulièrement sur les sols légèrement ombragés, secs et pauvres. Sa facilité d'existence la rend utile au stade préliminaire de régénération d'un sol érodé. Par contre, elle est particulièrement nuisible comme couverture permanente, car elle épuise le sol, sans rien lui apporter. Ses déchets présentent une résistance à la décomposition considérable. A supprimer lorsque c'est possible. (Java.)

b) SELAGENILLACEAE. — *Selaginella plana* Hieron. — Racines défavorables. Les stipes dressées atteignent en général 0 m. 30, et parfois plus. On trouve cette Lycopodinée à l'ombre. Elle ne semble guère plus utile que le *Lycopodium*. A contrôler. (Indochine, Java.)

Selaginella Willdenowii Baker. — Plante grimpante qui peut atteindre 3 m.; elle se développe à l'ombre. Son système racinaire ressemble à celui du *Lycopodium*. A contrôler. (Java.)

Selaginella opaca Warb. (Malais : Jambol merah.) — Rappelle *S. plana* à tous points de vue.

C. MONOCOTYLEDONES (classe généralement défavorable).

a) GRAMINEAE. — *Imperara cylindrica* Beauv. et *Imperata exalta* Brongn. (Tamil et Malais : Lallang.) — Grandes herbes envahissantes à rhizomes très agressifs. Se développent très rapidement à la lumière en tous sols, sauf en eau stagnante et en sol trop pauvre. La crainte de ces graminées ruineuses a amené le planteur à développer des méthodes d'exploitation extrémistes comme : brûlage intégral de la forêt, sarclage « propre », etc... Le seul moyen de contrôle naturel connu est l'ombre qui fait dégénérer rapidement ces herbes. Comme leur développement atteint 2 mètres, seul un taillis serré permettra d'en venir à bout (expériences du Forest Research Institute). La méthode usuelle des planteurs consiste à retirer soigneusement tous les rhizomes du sol au cours d'un labourage très dispendieux. L'expérience montre que sous une couverture de plantes dressées, le danger d'invasion de ces graminées est à peu près annihilé. La fréquence des « tours de lallang » peut alors être diminuée de 15 jours à 3 mois et souvent plus. (Indochine, Java.)

Dimeria ornithopoda Trin. (Tamil : Sila pillu.) — Touffe élançée de chaumes capillaires roses accrochées sur un rhizome court. Le développement en hauteur est en général de 0 m. 30, et atteint parfois 0 m. 50. Cette graminée se développe en pleine lumière dans les sols secs et incultes. Sans être annuelle, elle disparaît de temps à autre. Nous la tolérons, faute de mieux, en sols trop poreux. En tous autres sols, nous la sarclons.

Ischaemum muticum et *I. aristatum* Linn. (Malais : Rumput gerek telinga.) — Herbe élançée à tige plus ou moins traçante, racines simples et adventives. Elle ne dépasse pas 0 m. 30 en hauteur. Envahissante, elle se répand dans les champs incultes et lourds. Sans valeur sur ces sols, elle peut être tolérée sur les sols légers. (Java.)

Digitaria longiflora Pers. (Malais : Djampian piit, Tamil : Cody pillu.) — Tige stolon, racines simples et adventives. Herbe envahissante assez fréquente au soleil, dans les champs incultes. Theekonkruiden la cite comme « ennemi à craindre pour le thé ». Commensal agressif au sein d'une couverture traçante basse, son développement est arrêté par les couvertures dressées, où nous ne la sarclons pas. (Java.)

Digitaria marginata Link. (Tamil : Arisi pillu.) — Ressemble à la précédente qu'elle dépasse en hauteur (0 m. 50). Elle préfère des sols plutôt humides, ce qui permet de l'éliminer largement par le drainage. Elle est parfois annuelle. La suppression de cette herbe par le sarclage est une opération onéreuse, qui est rarement justifiée. Nous préférons la contrôler naturellement : drainage et couverture dressée. (Java.)

Axonopus compressus Beauv. (Malais : Rumput pahit, Tamil : Totum pillu.) — Touffe de chaume et touffe de racines. Cette herbe qui atteint 0 m. 30 de haut est excellente comme bordure de route ou terrasse en terrains accidentés. Elle peut également être tolérée dans les sols trop poreux. Partout ailleurs elle doit être condamnée. On la rencontre à profusion dans les champs incultes. (Java.)

Paspalum conjugatum Berg. (Malais : Rumput kerbau, Tamil : Sunny pillu.) — Rameaux stolons ancrés au sol par des racines fasciculées et adventives. Cette herbe peut atteindre 0 m. 50 de haut. Elle se répand sur le sol sur plusieurs mètres et est fort envahissante sur les sols bien éclairés, de moyenne fertilité. Utilisée en couverture unique,

elle retarde nettement la croissance de la culture principale. Utilisée dans une couverture étagée, elle ne présente aucun inconvénient, sauf en sols lourds qu'elle ne contribue pas à aérer. (Java, Indochine.)

Paspalum Commersonii Lam. (Malais : Rumput gegendjaran, Tamil : Sunny pillu.) — Touffe de chaume. Racines fasciculées. Cette herbe a généralement 0 m. 50 de haut, mais elle peut atteindre exceptionnellement 0 m. 90. Elle préfère les milieux ombragés, on la rencontre particulièrement dans les champs incultes et humides. Le drainage la fait régresser. Utilisée avec la précédente comme couverture unique, elle retarde nettement la croissance de la culture principale. Mêmes conclusions que pour le *P. conjugatum*, dans les jeunes cultures. Nous recommandons de la retirer des vieilles cultures dès que les espèces plus favorables se présentent. (Java.)

Brachiara distachya Stapf. — Herbe atteignant 0 m. 90. Long stolon souterrain issu de racines fasciculées. Elle est souvent envahissantes dans les terres sablonneuses incultes. Nous la tolérons dans ces sols légers, sous une couverture étagée qui la tient en échec. Elle est à proscrire des terres lourdes.

Echinochloa colona Link. (Malais : Rumput kusa-kusa, Tamil : Varikira pillu.) — Touffe de chaume à racines fasciculées. Cette herbe annuelle peut atteindre 0 m. 40. Elle est fréquente dans les champs incultes. Elle peut être considérée comme bénigne dans les terres légères, et tolérée faute de mieux dans les autres sols.

Cyrtococcum accressens Stapf. (Malais : Rumput telor ikan, Tamil : Poom pillu.) — Plante traçante qui préfère les sols légèrement ombragés, et de bonne fertilité. Elle n'est pas envahissante et peut être tolérée en tous sols. (Indochine.)

Eragrostis viscosa Trin. (Tamil : Usi pillu.) — Petite herbe à tige et feuilles filliformes dont la touffe de racines est difficile à arracher. Elle ne dépasse guère 0 m. 25. Très envahissante dans les sols sablonneux, humides, nus, son sarclage est ruineux. Il est préférable de laisser à la couverture et au drainage le soin de la supprimer. (Java.)

Cynodon dactylon Pers. — Tige stolon issue de racines simples et adventives. Cette herbe atteint rarement 0 m. 40 de haut. Assez envahissante dans les sols secs et sablonneux de jeunes cultures, elle peut être tolérée dans la couverture étagée. (Java.)

Eleusine indica Gaertn. (Malais : Rumput sambau.) — Touffe de chaume atteignant 0 m. 60 et parfois 0 m. 90. Cette herbe annuelle est un indicateur de sol peu perméable. Défavorable en sols lourds, elle peut être tolérée en tous autres sols. Elle tolère mal l'ombre. (Java.)

Poa annua Linn. (Tamil : Siru pillu.) — Petite touffe issue de racines fasciculées défavorables à l'aération du sol. Elle préfère les champs raisonnablement fertiles, bien éclairés. Elle peut être tolérée en sols poreux, seulement. Elle disparaît sous une couverture étagée. (Java.)

Bambusa, Schrb. (Malais : Buloh.) — Nombreuses espèces de bambous qui repoussent vigoureusement après le brûlage. Ils disparaissent peu à peu au cours des sarclages successifs.

c) MUSACEAE. — *Musa malaccensis*, *M. violascens* Ridl. (Malais : Pisang.) — Bananiers sauvages atteignant 3 mètres et tolérant un peu d'ombre. Leur développement et leur besoin d'eau important les font condamner.

d) COMMELINACEAE. — *Commelina nudiflora* Linn. (Malais : Rumput kukupu.) — Herbe à longue tige semi-stolon. Racines fasciculées simples. Le développement ne dépasse pas 0 m. 40, à la lumière, et 0 m. 20 en lieux légèrement ombragés. Cette plante bénigne peut être tolérée en associations. (Java.)

Ancilema nudiflorum R. Br. (Malais : Rumput lipah.) — Racines fasciculées. Plusieurs tiges langes atteignant 0 m. 60. Cette herbe qui tolère un peu d'ombre est un indicateur de mauvaise perméabilité. Bénigne en sols légers, elle est défavorable en tous autres sols. (Java.)

e) PALMACEAE. — Palmiers et rottangs repoussant après le brûlage. Leur développement éventuel les rend inadmissibles. Ils sont supprimés par le sarclage.

f) AROIDEAE. — *Alocasia*, Schott. (Cf. *Caladium* Lem.) — Espèce non déterminée. Petite plante assez fréquente dans les vieilles cultures sur les sols lourds et humides. Elle ne dépasse pas 0 m. 30. Nous la considérons comme bénigne.

Homalomena, Schott. (Malais : Kemoyang, Tamil ; Kaddu siru samboo.) — Nombreuses espèces de petites herbes à large feuille cordée, dont la hauteur ne dépasse pas 0 m. 20. Elles sont également assez fréquentes dans les vieilles cultures, sur les sols lourds et humides. Bénignes.

g) CYPERACEAE. — *Fimbristylis*, Vahl. (F. miliacea, etc...) (Malais : Rumput para, Tamil : Korrei pillu.) — Nombreuses espèces de faible développement (0 m. 10 à 0 m. 50) assez fréquentes dans les ouvertures, sur les sols humides. Ces touffes de chaumes issues de touffes de racines sont défavorables à l'aération du sol. Tolérables dans les sols trop poreux, elles doivent être contrôlées en tous autres sols. Le drainage est une mesure utile à cet effet. Le sarclage et les couvertures étagées les font disparaître rapidement. (Java.)

Scleria, Berg. (*S. multifolia* Boeck, etc...) (Tamil : Kalutharupan korrei pillu.) — Racines fasciculées. Tiges atteignant 0 m. 60, et parfois 0 m. 90. Ces plantes, fréquentes en lieux incultes non ombragés, s'accommodent de tous les sols. Elles sont généralement à contrôler. Elles peuvent parfois être temporairement utiles sur des sols de laterites érodés. (Java.)

Cyperus compressus Linn. (Malais : Rumput tiga sagi.) — Plusieurs oignons reliés par un rhizome, fréquents dans les champs incultes peu ombragés. Theonkruiden définit cette plante comme « ennemi à craindre pour le thé ». Son développement ne dépasse pas 0 m. 30, ce qui rend son contrôle facile par les plantes de couverture. A contrôler. (Java.)

Kyllinga monocephala Rottb. (Malais : Rumput butong, Tamil : Ponkorai pillu.) — Plante d'un petit développement, 0 m. 30. Rhizome court. Elle est fréquente dans les jeunes cultures, où elle n'est défavorable que dans les terres lourdes.

Kyllinga brevifolia Rottb. (Malais : Rumput toki.) — Ressemble en tous points à la précédente. Ses racines sont toutefois plus défavo-

rables. Cette plante sera généralement à contrôler, sauf peut-être dans les terres légères. Le drainage la fait nettement régresser. (Java.)

D. DICOTYLEDONES APETALES

(section généralement utile)

a) AMARANTHACEAE. — *Alternanthera sessilis* Br. (Malais : Akar rumput, Tamil : Ponerandy keeray.) — Herbe charnue mi-rampante mi-dressée. Touffe de racines fasciculées et racines adventives. Le développement en hauteur est en général 0 m. 60, mais peut atteindre 1 mètre. Fréquente dans les sols incultes humides peu ombragés, cette plante doit être contrôlée : drainage, sarclage, couverture dressée. (Java.)

Amaranthus viridis Linn. (Malais : Bayam puteh). — Herbe dressée ne dépassant pas 0 m. 30. Racine pivotante. Cette plante est assez fréquente dans les jeunes cultures, où elle est parfois éphémère. Bénigne, à ne pas sarcler. (Java.)

b) NEPENTHACEAE. — *Nepenthes*. Espèce non déterminée. (Malais : Priok kra, Tamil : Putchi tinnum cheddy.) — Petite herbe dressée à tige très courte (0 m. 10 à 0 m. 20) remarquable par la nervure médiane de la feuille qui se termine en cruche-trappe à insectes. Les racines fasciculées ne semblent pas affecter beaucoup la porosité du sol. Cette plante apparaît dans les vieilles cultures quand le sol s'améliore : érosion enrayée, porosité améliorée, déchets organiques favorables en décomposition. A tolérer.

c) EUPHORBACEAE (famille d'utilité temporaire). — *Euphorbia hirta* Linn. (Malais : Gelang susu, Tamil : Pal pundu.) — Petite plante à racine pivotante. Racines latérales assez touffues. Sa hauteur ne dépasse pas 0 m. 30. Elle est assez fréquente dans les champs incultes peu ombragés. Bénigne. A tolérer. (Indochine.)

Hevea brasiliensis Muell. Arg. (Malais : Pokoh guttah, Tamil : Pal maram.) — Arbre à racine pivotante. Les sauvageons tolèrent bien l'ombre, lorsque le sol a été refertilisé par quelques déchets organiques et l'arrêt de l'érosion. Nous avons vérifié que ces sauvageons étaient très friands de nitrates. Le développement à l'ombre est si lent que ces jeunes pieds mettent parfois plusieurs années à atteindre un mètre, lorsque le sol a été préalablement mal géré, biologiquement parlant. La décomposition des déchets n'est pas favorable; en particulier les feuilles mettent un temps considérable à se désagréger. Utile comme plante adventice de transition dans une vieille culture érodée, ce n'est pas une espèce souhaitable comme couverture permanente. (Indochine, Java.)

Phyllanthus niruri Linn. (Malais : Meniran, Tamil : Keeza nelli pillu.) — Herbes dressées à racines fasciculées en touffe. Le développement en hauteur ne dépasse pas 0 m. 30. Elle est fréquente dans les champs incultes éclairés. Plante défavorable à contrôler. (Indochine, Java.)

Phyllanthus urinaria Linn. (Malais : Ambin buah.) — Mêmes remarques que la précédente. (Java.)

Macaranga, Thouars. (Malais : Mahang.) — Nombreuses espèces d'arbres peuplant les taillis, petites forêts, etc... caractérisés par de très larges feuilles, souvent lobées, fort utiles comme couverture étagée. Les trois espèces les plus communes sont : *M. hypoleuca*, *M. robiginosa*, *M. triloba*. Le développement de ces plantes à l'ombre est suffisamment faible et lent pour qu'elles puissent être utilisées dans les vieilles cultures. (Java.)

Mallotus macrostachyus Muell. Arg. (Malais : Balik kuning.) — Arbrisseau à racine pivotante dont les grandes feuilles forment une couverture étagée favorable. Dans les taillis, il atteint 4 mètres, dans les vieilles cultures d'hévéas son développement est suffisamment lent et restreint pour que cette plante soit favorable.

d) URTICACEAE. — *Ficus fistulosa* Reinwdt. (Malais : Ara.) — Mêmes remarques que précédemment. Dans les taillis, cet arbrisseau peut néanmoins atteindre 8 mètres, ce qui fait supposer que si on ne le recoupe pas son développement pourrait à la longue devenir une gêne dans les vieilles cultures. A utiliser.

Ficus alba Reinwdt. — Petit arbuste ne dépassant pas 2 m. 50, dans les taillis. Ses racines, pivotantes et latérales, pénètrent mal le sol, ce qui le rend moins souhaitable que les espèces précédentes. A utiliser temporairement, ses grandes feuilles elliptiques étant favorables.

E. DICOTYLEDONES GAMOPETALES

(section généralement utile)

a) COMPOSITAE. (Famille généralement favorable.) *Erechthites valerianifolia* D.C. (Malais : Brobus.) — Herbe dressée. Racines fasciculées. Développement maximum : 0 m. 60. Cette herbe annuelle est assez fréquente dans les champs incultes éclairés. Peut être tolérée en associations. (Java.)

Emilia sonchifolia D.C. (Malais : Satumbak merah, Tamil : Narfu cheddi pillu.) — Petite herbe dressée ne dépassant pas 0 m. 30. Malgré ses racines fasciculées, nous considérons cette annuelle comme bénigne. Elle est particulièrement utile sur les terres poreuses, lorsqu'on évite de la laisser seule. Elle s'accommode assez bien de tous les sols, mais mal de l'ombre. (Indochine.)

Mikania scandens Willd. (Malais : Bredjo Reggo.) — Plante traçante parfois utilisée comme plante de couverture. Assez agressive, elle couvre bien le sol dans les jeunes cultures. Sa tolérance de l'ombre est légèrement supérieure à celle des Légumineuses traçantes usuellement employées. Elle produit les mêmes effets que ces plantes : elle étouffe le sol et supprime la plupart des plantes adventices favorables ou non. En raison de son agressivité, nous ne la tolérons que sur les pentes ombragées, où aucune autre plante ne permettrait une couverture suffisante. Lorsque les conditions économiques le permettent, nous préférons que cette plante soit entièrement supprimée au profit de plantes moins agressives : légumineuse ou autre que l'on devra souvent aider par une application de phosphate. A contrôler. (Java.)

Synedrella nodiflora Gaertn. (Tamil : Kerndi poundu.) Herbe dressée atteignant 0 m. 50. Racines fasciculées. Cette herbe annuelle est trop agressive dans les jeunes cultures pour qu'on la laisse se développer librement. Elle peut être utilisée néanmoins en associations avec des couvertures dressées de taille supérieure. (Java.)

Ageratum conyzoides Linn. (Malais : Tahi ayam, Tamil : Natha poundu.) — Herbe dressée atteignant 0 m. 60, et parfois 0 m. 90. Ses racines fasciculées ne semblent pas empêcher beaucoup l'aération du sol. Son caractère annuel, et sa facilité de prolifération sont des caractères favorables pour une utilisation dans une plantation âgée de deux à trois ans. (Indochine, Java.)

Sparganophorus Vaillantii D.C. (Tamil : Poila pillu.) — Herbe charnue atteignant 0 m. 50, se trouve dans les lieux humides ensoleillés. Ses racines fasciculées sont peu favorables. A contrôler : drainage, sarclage, couverture.

Vernonia cinerea Less. (Malais : Sembong hutan.) — Herbe dressée de 0 m. 30, atteignant parfois 0 m. 90. Racines pivotantes. Cette herbe pourra être tolérée deux ou trois ans après l'ouverture, ou bien aussitôt qu'une couverture dressée sera établie. (Indochine, Java.)

Gynura malasica Ridl. — Grande herbe dressée à racine pivotante (0 m. 90.) Son développement peut parfois être considéré excessif dans les jeunes cultures, lorsqu'on utilise des couvertures traçantes. Parmi les couvertures dressées, elle sera très favorable par sa tolérance de l'ombre, en sols raisonnablement fertiles.

b) CAMPANULACEAE. — *Pentaphragma Scortechinii* King. — Petite herbe succulente ne dépassant pas 0 m. 25. Sa tolérance de l'ombre la rend utile. Bénigne.

c) RUBIACEAE (Famille favorable.) *Argostemma pictum* Wall. — Mêmes remarques que la précédente. C'est une des premières plantes favorables qui apparaît au cours d'un programme de régénération d'une vieille culture érodée. Elle préfère les lieux pas trop secs.

Hedyotis congesta Wall. (Malais : Bunga kakarang, Tamil : Kaddu virally.) — Racine pivotante. Développement maximum : 0 m. 60. Cette Rubiacée à forte teneur d'azote, et à décomposition rapide semble être plus utile à nos sols que la plupart des Légumineuses que nous avons employées. C'est une des plantes favorables qui se propagent de la forêt vers l'intérieur des vieilles cultures lorsqu'on est parvenu à améliorer suffisamment les conditions oecologiques. Elle tolère bien l'ombre et semble même la préférer à un excès de lumière. L'humus bien gorgé d'eau est une aide précieuse à son établissement.

Hedyotis capitellata Wall. (Malais : Anga besi.) — Plante grimpante à racine pivotante. Elle préfère la lumière. Elle peut être utilisée avantageusement en association avec des couvertures dressées.

Oldenlandia diffusa Roxb. (Malais : Rumpit injah, Tamil : Mukuthi pillu.) — Herbe annuelle ou périodique ne dépassant pas 0 m. 30. Racines fasciculées. Elle se répand vite au soleil en sols sablonneux. C'est une plante utile en associations. (Indochine.)

Oldenlandia corymbosa Linn. (Malais : Telor Blankas.) — Mêmes remarques que pour la précédente. (Indochine.)

Morinda elliptica Ridl. (Malais : Mengkudu jantan.) — C'est un des arbres (5 mètres) les plus fréquents dans les taillis et l'Imperata. Assez agressif, il se répand bien en tous sols au soleil. Dans les vieilles cultures, son développement n'est pas gênant. C'est une des espèces favorables qui apparaissent quand le sol s'améliore.

Morinda umbellata Linn. (Malais : Mengkudu hutan.) — Buisson à tige ligneuse grimpante. Racine pivotante. Préfère la lumière et les sols sablonneux. Peut être toléré, mais n'est pas souhaitable à l'état permanent.

Lasianthus, Jack. — Arbrisseaux ayant de 0 m. 90 à 1 m. 50, que l'on trouve assez fréquemment dans les sous-bois. Racines pivotantes. Les grandes feuilles elliptiques pointues forment une couverture étagée utile. Dans un article récent (Rev. Bot. Appl., août 34), M. Chevalier signale que ces plantes peuvent bénéficier d'une symbiose microbienne fixatrice d'azote, dans leurs feuilles. Il rappelle aussi que d'autres Rubiacées présentent le même phénomène : Pavetta, Psychotria, et peut-être Coffea.

Borreria latifolia Schum. (Tamil : Thadara pillu.) — Petite herbe charnue ne dépassant pas 0 m. 50 à 0 m. 60. Racine pivotante et latérales nombreuses. Elle se répand vite sur les sols sablonneux au soleil. Peut être tolérée parmi les plantes dressées. (Indochine, Java.)

Borreria setidens Ridl. (Tamil : Ponangani pillu.) — Ne dépasse pas 0 m. 20. Mêmes remarques que la précédente.

d) MYRSYNEAE. — *Maesa ramentacea* Wall. (Malais : Gambir jantan.) — Arbuste à tige ligneuse atteignant 0 m. 50 à 1 m. 50, se développant en sous-bois. Ses racines ne sont pas très pénétrantes. Ses grandes feuilles en font néanmoins un commensal utile dans les vieilles cultures.

e) LOGONIACEAE. — *Fagraea racemosa* Jack. (Malais : Kaddu koppi.) — Petit arbre qui peut atteindre 10 mètres à la lumière. A l'ombre, son développement faible et ses grandes feuilles opposées en font une plante favorable dans les vieilles cultures.

f) SOLANACEAE. — *Physalis minima* Linn. (Malais : Chiluan.) — Herbe atteignant 0 m. 30 à 0 m. 50. Racines peu favorables. Elle se répand vite dans les jeunes cultures et disparaît aussi vite parfois pour des raisons que nous ignorons. Peut être tolérée, faute de mieux. (Java.)

Solanum nigrum Linn. (Malais : Trong parachichit.) — Herbe atteignant parfois 0 m. 90 à la lumière. Racines fasciculées assez profondes. Peut être tolérée, faute de mieux. (Indochine, Java.)

g) SCROPHULARIACEAE. — *Scoparia dulcis* Linn. (Malais : Chapadang, Tamil : Punah pundoo.) — Buisson à base ligneuse atteignant 0 m. 60 à la lumière. Peut être tolérée, bien que les racines ne soient pas très favorables. (Indochine.)

Vandellia elata Benth. — Herbe atteignant 0 m. 30 au plus, assez fréquente dans les sols secs des jeunes cultures. Bénigne.

h) ACANTHACEAE. — *Staurogyne setigera* Kze. (Malais : Pokoh cheheh merah.) — Petite herbe mi-dressée, mi-tracante que l'on trouve dans les vieilles cultures quand les conditions oecologiques s'améliorent. Son système racinaire n'est pas très favorable. Bénigne. (Indochine.)

i) VERBENACEAE. — *Clerodendron deflexum* Wall. (Malais : Lidah kerbau, Tamil : Kattu cheddy.) — Arbrisseau atteignant parfois 1 m. 20. Sa tolérance de l'ombre en fait une plante utile pour les vieilles cultures. Ses grandes feuilles elliptiques dépassent parfois 30 cm. dans leur longueur.

F. DICOTYLEDONES POLYPETALES

(section souvent favorable)

a) CARYOPHYLLACEAE. — *Drymaria cordata* Willd. (Malais : Djuket ibun.) — Petite herbe mi-traçante mi-dressée à racines fasciculées. Son développement en hauteur ne dépasse pas 0 m. 30. Elle se répand assez rapidement sur les sols lourds non couverts. A contrôler. (Java.)

Drymaria hirsuta Bartl. — Mêmes remarques que pour la précédente. Ses racines pénètrent mieux et son développement est généralement beaucoup plus faible. Peut être tolérée. (Java.)

b) PORTULACACEAE. — *Portulaca oleracea* Linn. (Malais : Gelang pasir, Tamil : Parapoo keeray.) — Herbe succulente à nombreuses ramifications. Elle ne dépasse pas 0 m. 30. Elle disparaît périodiquement, en particulier pendant les sécheresses. Sa décomposition est particulièrement rapide. Plante très utile à laisser au sein d'associations. (Indochine, Java.)

c) DIPTEROCARPACEAE. — Arbres oléo-résineux, géants de la forêt. Ils apparaissent comme rejets après le brûlage et plus tard en bordure de la forêt. Leur développement en hauteur considérable ne permet pas de les admettre comme couverture permanente.

d) MALVACEAE. — *Hibiscus macrophyllus* Roxb. (Malais : Tutok.) — Arbre qui peut atteindre 25 mètres dans des sols favorables (fertiles) et sous un éclaircissement moyen. Racine pivotante. Grandes feuilles cordées atteignant 30 cms de long. Peut être très utile comme couverture semi-temporaire dans les vieilles cultures, où son développement est très lent.

Sida carponifolia Linn. (Malais : Kelulut puteh.) — Arbrisseau atteignant rarement 1 mètre. Racine pivotante. Peut être utilisé dans les vieilles cultures.

Urena lobata Linn. (Malais : Kelulut.) — Mêmes remarques.

e) LEGUMINOSAE. — Voir Troisième partie.

f) MELASTOMACEAE. — *Melastoma polyanthum* Bl. (Malais :

Sendukok, Tamil : Kaddu peran.) — Arbuste vivace qui peut atteindre 2 m. 50. Ses racines sont défavorables. Il préfère la lumière, mais tolère l'ombre. Sa prolifération rapide le rend indésirable comme couverture permanente. Sa décomposition est plus utile que celle de la plupart des plantes acides étudiées, probablement grâce à différentes propriétés chimiques que nous étudierons au cours de la cinquième partie, en particulier sa forte teneur en eau. Plante à supprimer généralement, sauf dans les vieilles cultures érodées, où elle peut être temporairement utile. (Java.)

Sonerila heterostemon Naud. (Malais : Ati-ati hutan.) — Petite herbe fréquente dans les vieilles cultures, à un stade préliminaire de la régénération. Elle atteint rarement 0 m. 45. Ses racines peu favorables ne permettent pas de la considérer comme une espèce désirable à l'état permanent dans les sols lourds.

Sonerila begoniaefolia Bl. (Malais : pauh.) — Mêmes remarques. Elle dépasse rarement 20 cms. Bénigne. Peut être conservée.

g) PASSIFLORACEAE. — *Passiflora foetida* Linn. — (Malais : Kepas bulan, Tamil : Tapah kodi.) — Plante traçante vivace. Utilisée parfois comme plante de couverture. Elle étouffe toutes les Légumineuses traçantes usuelles, sauf le *Pueraria* et le *Mimosa*. Elle parvient même à ralentir considérablement la propagation de l'*Imperata*. Elle semble produire sur le sol et la culture principale le même effet que le *Mikania scandens* et les Légumineuses traçantes, lorsque celles-ci n'ont que peu de nodosités. Ne présentant aucun avantage sur celles-ci, nous la condamnons. Remarquons néanmoins que lorsqu'elle est bien établie sur une pente, il est souvent plus logique de la laisser que d'entreprendre des travaux coûteux de suppression qui appauvriront le sol. (Indochine.)

h) FICOIDEAE. — *Mollugo pentaphylla* Linn. (Malais : Tapak burong, Tamil : Telukan tadi.) — Petite herbe filliforme à nombreuses ramifications dichotomes. Elle dépasse rarement 15 cms. Elle se répand bien sur des sols nus, mais pas sous couverture, quelle qu'elle soit. A tolérer. (Indochine, Java.)

i) UMBELLIFEREAE. — *Hydrocotyle asiatica* Linn. (Malais : Pegaga, Tamil : Valla keera pillu.) — Plante traçante assez plate. Assez fréquente dans les jeunes cultures. Ses racines principales et adventives sont touffues. Cette plante n'ombrage pas le sol et n'est pas utile. Elle sera aisément supprimée par la couverture, pour peu que l'on aide celle-ci. (Java.)

TROISIEME PARTIE

LE PROBLEME DES LEGUMINEUSES

I. — INTRODUCTION

Nous avons cru utile de faire débiter ce chapitre par des considérations générales sur le Cycle de l'Azote et des Minéraux dans les sols des plantations.

Il eût semblé plus logique de situer ces deux paragraphes dans le chapitre premier. Nous avons préféré cette disposition, en raison de l'importance de ces deux questions dans notre étude critique des Légumineuses usuelles. Nous y trouvons la raison de l'échec des Légumineuses sous vieilles cultures. Nous y puisons également des arguments de poids en faveur d'une sélection plus large qui, nous l'espérons, contribueront à affaiblir la favoritisme souvent injustifiable dont jouissent encore les Légumineuses dans l'économie des plantations malaises.

Nous avons divisé cette troisième partie en 6 chapitres :

I. — *Introduction.*

II. — *Cycle de l'azote dans les sols des plantations.*

III. — *Cycle des minéraux.*

IV. — *Considérations physiologiques sur les Légumineuses usuelles.*

V. — *Etablissement des Légumineuses usuelles dans les sols pauvres et sous les vieilles cultures.*

VI. — *Autres Légumineuses offrant des possibilités d'adaptation comme plantes adventices.*

II. — CYCLE DE L'AZOTE DANS LES SOLS DES PLANTATIONS

Le but de ce chapitre est de situer, d'une façon aussi concrète que notre documentation le permet, le problème du maintien de la teneur en azote de nos sols de plantation. Il

nous permettra de comparer la valeur des couvertures légumineuses et non-légumineuses et de savoir jusqu'à quel point l'engouement pour ces dernières est justifié.

Nous avons divisé ce chapitre en cinq paragraphes :

- Nutrition azotée des plantes.
- Enrichissement du sol en azote par débris organiques des plantes adventices.
- Enrichissement du sol en azote par les racines de Légumineuses.
- Bilan de l'azote du sol.
- Variation de la teneur en azote du sol.

A. — NUTRITION AZOTÉE DES PLANTES

Résumons les connaissances générales :

L'azote est l'aliment inorganique dont la plante a, très souvent, le plus grand besoin. L'azote libre n'est utilisable, semble-t-il, que par certains végétaux inférieurs (champignons, algues, bactéries) (M. E. Gain, p. 48).

Dans les feuilles, les sels acides et les acides libres, les matières astringentes, comme l'a montré Müntz, sont les substances qui jouent le rôle principal dans l'absorption de l'ammoniaque en vapeur par la voie foliaire. L'estimation indique seulement 2 à 5 kgs d'ammoniaque par Ha. (M. E. Gain, p. 343).

Les végétaux supérieurs se nourrissent surtout de l'azote des nitrates du sol et accessoirement de l'azote ammoniacal. Néanmoins, les phanérogames peuvent emprunter leur azote aux amines employés sous forme de sels, sans que ces substances aient subi une transformation préalable en sels ammoniacaux ou en nitrates (M. E. Gain, p. 258).

Certains végétaux présentent une association mycorhizienne avec des champignons qui absorbent facilement les matières organiques et semblent agir aussi sur la production d'ammoniaque, au dépens de l'humus. Certaines de ces associations semblent d'ailleurs tout à fait nécessaires à certaines plantes, telles que les orchidées, les Lycopodiacees, etc. (Prof. E. Gain, p. 259).

Maints végétaux, les Légumineuses, les Cycadacées, les Eléagnacées, les Myricacées, les *Alnus*, peuvent bénéficier indi-

rectement d'un apport d'azote libre, grâce à une symbiose microbienne, localisée au système racinaire.

D'autres végétaux présentent le même phénomène dans leurs feuilles : certaines Rubiacées (*Pavetta*, *Psychotria*, *Lasinthus* et peut-être *Coffea*), et certaines Myrcinées (*Ardisia*) (Prof. A. Chevalier, *Revue Botanique appliquée*, août 1934).

La sécheresse entrave beaucoup ou empêche la production des nodosités tuberculeuses des Légumineuses (Prof. E. Gain, p. 287).

M. Chaminade (réf. citée), résumant la littérature se référant à l'influence du pH sur le développement des Légumineuses, remarque que leur teneur en N et leurs nodosités sont faibles en sols acides, pour beaucoup d'espèces du moins.

Nota. — Ridley signale dans la flore malaise :

2 Cycadacées : *Cycas Rumphii* et *C. siamensis*, sortes de Palmes vivant à proximité de l'eau.

1 Eléagnacée : *Eleagnus latifolia*, buisson grimpant.

2 Myricacée : *Myrica Farquhariana*, *M. auriculata*, buissons arborescents.

66 genres de Légumineuses et plusieurs centaines d'espèces.

67 genres de Rubiacées, dont les 4 genres cités plus haut.

B. — ENRICHISSEMENT DU SOL EN AZOTE PAR DEBRIS ORGANIQUES DES PLANTES ADVENTICES

a) *Débris organiques superficiels provenant des non-Légumineuses.*

C'est cet azote qui, par ses mutations, fournit particulièrement sous forme de nitrates le principal de l'alimentation azotée des plantes (Prof. E. Gain, p. 256).

Ce n'est d'ailleurs qu'une restitution puisque la grosse majorité des non-Légumineuses semble inapte à se procurer l'azote ailleurs que dans le sol.

Cette restitution n'est que partielle. Sa proportion dépend de nombreux facteurs qui seront étudiés au cours de la cinquième partie de cette étude :

— facteurs inhérents au végétal : C/N, lignine %, minéraux %, pH, etc...;

— facteurs inhérents au sol : population micro-organique, texture, azote, humus, pH etc...;

— facteurs extérieurs : lumière, humidité suffisante et permanente, température, etc...

Citons quelques extraits traduits de l'ouvrage : « *A Manual of Green Manuring* » :

« Des expériences conduites en région tempérée ont montré que, si la proportion utile du nitrate de soude est estimée à 100, celle des engrais verts est l'environ 65. » (page 9)

« Si le sol est trop sec, ce qui arrive même là où il y a de fortes précipitations du fait de plusieurs phénomènes : excès de porosité, manque de matières humiques, surface battue par les pluies torrentielles, les végétaux resteront non décomposés. » (pages 10, 11, 15)

« Le séchage des engrais verts semble convertir les hémicelluloses solubles en formes moins solubles. » (page 21)

Joachim a relevé des déperditions de plus de 43 % de l'azote des déchets de *Gliricidia maculata* et 37 % de l'azote des feuilles d'*Erythrina lithosperma*, en période où les pluies alternaient avec la sécheresse (page 27). (*)

b) Débris organiques provenant des Légumineuses.

Les mêmes remarques, qu'au paragraphe précédent, s'appliquent ici. Toutefois, il y a en principe, plus qu'une restitution. La Légumineuse a pu utiliser de l'azote qui ne provient pas du sol. Il devrait donc y avoir enrichissement.

Citons le même ouvrage : (*Manual or Green Manuring*) :

« Toutes les Légumineuses ne sont toutefois pas fixatrices d'azote. De plus, certaines variétés qui normalement présentent des nodosités sur leur racines, peuvent, sous certaines conditions, ne pas offrir ce phénomène. » (page 6).

M. le Prof. E. Gain (page 287), a démontré qu'en sols secs les Légumineuses sont plus ou moins dépourvues de nodosités.

(*) *Nota.* — La plupart de ces expériences ont eu lieu en utilisant des débris de Légumineuses. Cela ne change rien à la valeur générale des résultats trouvés, pour peu que les plantes ne soient pas lignifiées et aient un pourcentage suffisant d'azote.

Si le pourcentage d'azote est inférieur à 2 %, ce qui se produit pour quelques Légumineuses (*Mimosa pudica* 0,97 % sur sec, etc...) et pour beaucoup de non-légumineuses, la déperdition est beaucoup plus faible. (Voir chapitre II de la V^e partie.)

M. Corbet, remarque (R. R. I. *Annual report* 1929, page 78) :

« Bien que l'utilisation des plantes légumineuses comme
« couverture de plantations d'Heveas se répande rapidement
« en Malaisie, cette pratique n'est pas invariablement suivie
« de succès...

« Si la formation de nodosités est pauvre on non-exis-
« tante, il n'y a pas de raison pour que d'autres plantes non-
« légumineuses ne soient pas favorisées...

« On peut attirer l'attention sur la croissance luxuriante
« du *Vigna* (et peut-être d'autres Légumineuses), sur les
« emplacements où des arbres ont été brûlés. Les cendres de
« bois contiennent une plus large proportion de calcium que
« d'aucun autre métal... »

Nous lisons, d'autre part, dans le M.A.J. 1928, p. 173 :

« Un examen, dans le champ des racines de certaines Lé-
« gumineuses importées, a montré un développement nettement
« rare de nodosités et a jeté le doute sur l'assertion usuelle de
« l'enrichissement en azote, découlant de l'utilisation de ces
« plantes de couverture. »

La même publication, en 1929 (page 308), annonçait que les cultures sur sable de ces Légumineuses entraînaient une production considérable de nodosités.

Nos observations personnelles ont montré que certaines Légumineuses (en particulier les traçantes), ne présentent que peu ou pas de nodosités dans la majorité des plantations en collines. Nous avons relevé le cas général suivant pour le *Centrosema pubescens* qui est encore, de loin, la plus utilisée sur les exploitations malaises :

— Collines de quartzite et schistes, latéritisées ou non : peu ou pas de nodosités. Terres trop sèches, teneur en minéraux trop faible, du moins suffisant pour les jeunes cultures ;

— Les expériences de chaulage, d'inoculation, n'ont rien donné. Les phosphates de roche ont amélioré la couverture, puis la culture principale.

Les Légumineuses dressées : *Crotalaria anagyroides* et *Tephrosia candida*, par contre, montraient une colonisation nette quoique faible. Les besoins en azote de ces deux dernières plantes (3,40 % et 3,93 % sur poids sec), sont à peine plus élevés que pour le *Centrosema* (3,63 % sur poids sec). (L'ouvrage de Ceylan indique respectivement 4,84 %, 4,84 %, 3,96 %.)

Par contre, les terres alluviales suffisamment poreuses et

les terres organiques qui sont plates et suffisamment gorgées d'eau, présentent des colonisations importantes (ce qui élimine tout argument en faveur du caractère limitatif du pH en suspension). (Phénomène déjà signalé par MM. Nehring et Keller, réf. citée par M. Chaminade.)

Malheureusement, dans ces deux cas-là, la teneur en azote du sol est généralement suffisante aux besoins de la cause, et l'apport supplémentaire d'azote ne produit aucun effet pratique, à part une décomposition accélérée, qui se traduit en une exportation de nitrates par les eaux de drainage (couleur café) et par une baisse de niveau du sol.

Il ressort de toutes ces considérations que la fixation d'azote libre par les Légumineuses est loin d'être un dogme inattaquable de l'économie des sols de plantations en Malaisie, puisque la production des nodosités présente une grande irrégularité. Les Légumineuses traçantes les plus populaires se comportent en particulier comme de vulgaires plantes non-Légumineuses, là où elles pourraient être utiles.

Signalons enfin que ces conclusions ne s'appliquent qu'à la majorité des plantations malaises que nous avons visitées, et que nous n'avons nullement la prétention d'avoir tout vu.

Nous avons visité à Java, Sumatra, Ceylan et en Indochine, beaucoup d'exploitations où les Légumineuses florissantes présentaient un développement nodulaire important. Il y a lieu de souligner le fait que la plupart de ces exploitations sont en terrains peu mouvementés, donc bien gorgés d'eau; que ces sols sont généralement moins arides et plus riches en minéraux.

Pour terminer ce paragraphe, il serait bon d'estimer l'enrichissement en azote, provoqué par ces débris superficiels.

1) Légumineuses dressées. — Les débris sont causés, non seulement par les chutes de feuilles, mais aussi par les recoupes nécessaires pour éviter un développement exagéré.

Le *Tephrosia candida*, dont nous avons planté des milliers d'hectares, produit en moyenne de 15 à 30 tonnes d'engrais verts par hectare par an (2 coupes). Nos analyses donnent 1,5 % N, sur produit humide, soit, pour 20 tonnes, 300 kgs d'azote par an. En supposant que les coupes aient été faites en période favorable, c'est-à-dire au commencement de la floraison et au début d'une saison humide, on ne peut guère compter au plus que sur l'incorporation au sol de la moitié de l'azote, le reste étant perdu sous forme d'ammoniaque.

Au cours des différentes mutations, une nouvelle perte de 40-50 % environ sera enregistrée (perte subie par végétaux

enfouis), la Légumineuse n'apportera au sol qu'environ 75 à 80 kgs d'azote annuel utile, dont une partie seulement provenant de l'atmosphère.

Cette estimation corrobore assez bien les expériences de MM. Joachim et Pandittesekere (page 45). Ces chercheurs n'ont relevé que des augmentations insignifiantes de teneurs en azote du sol, malgré un *enfouissement* d'engrais verts. (Rappelons que d'après une autre étude (*T. A.*, vol LXXX, N° 4, p. 199), MM. Joachim et Holland avaient estimé la perte en azote par érosion à 80 kgs par Ha. par an, en plantation de thé.)

2) Légumineuses traçantes. — L'apport consiste seulement en une chute de feuilles, qui vient constituer un tapis plus ou moins imperméable sur la surface du sol.

Les estimations deviennent fantaisistes, en raison de la variabilité du poids d'apport, qui dépend beaucoup des conditions locales. Quoi qu'il en soit, l'apport d'azote est très faible, sinon négligeable.

C. — ENRICHISSEMENT DE L'AZOTE DU SOL PAR LES RACINES DE LÉGUMINEUSES

Nous ne répéterons pas ce que nous avons dit sur la formation des nodosités et leur absence fréquente.

Utilisons encore le travail des chercheurs de Peradeniya, qui semblent avoir eu affaire à des Légumineuses à nodosités. Nous relevons les passages suivants :

« *Il n'y a aucune certitude que la présence des arbres légumineux produise une augmentation réelle de l'azote du sol, mais il y a toute probabilité que la teneur soit plus élevée que si aucun arbre légumineux ne s'y trouvait.* »

Page 40, l'auteur cite le cas de l'*Albizzia moluccana* (arbre d'ombrage, d'un grand développement). Cette Légumineuse favorise nettement les pieds de thé avoisinants. Nous croyons volontiers que l'*Albizzia* soit un commensal facile, voire même généreux, particulièrement là où il n'y a pas d'érosion et où le sol est suffisamment humide. M. J. B. Watson (*Malayan Forester*, avril 1932, p. 137, *Light requirements of Malayan Trees*), remarque que dans les forêts de Malaisie, le sol contient suffisamment d'eau pour couvrir toutes les demandes des végétaux. Il ajoute :

« Il apparaît, à Kepong, que la canopie et les racines « superficielles denses de l'*Albizzia moluccana* ne sont pas « hostiles à la croissance des sauvageons en péninière où le « développement de... », etc...

Notons aussi que l'*Albizzia* nous a donné, à l'analyse, le chiffre record de la teneur en azote : 5,72 %.

Peut-on généraliser à toutes les Légumineuses une remarque s'appliquant à une espèce particulièrement? Nous ne le croyons pas et pensons plutôt que la fructification des Légumineuses qui suit généralement la dégénérescence des nodosités, ne laisse pas grand'chose comme apport net, au sol.

Si nous utilisons encore le travail de MM. Joachim et Holland, nous y verrons que l'*Indigofera endecaphylla* et la *Clitoria cajanifolia* ont amélioré les pourcentages d'azote du sol :

Plante de Couverture	Teneur moyenne des parcelles en N.	
	1928	1932
Indigofera	0.108%	0.136%
Clitoria	0.115%	0.121%
Témoin nu	0.099%	0.094%

La perte annuelle en azote par érosion est restée sensiblement constante dans les trois sections : environ 80 kgs par an.

On peut douter que le sol témoin se soit aussi mal comporté si, au lieu d'être nu et érodé, il avait été couvert d'une plante favorable non légumineuse. En effet, il est bien connu que la fixation en azote d'un sol dépend de conditions physiques, de son humidité et sa teneur en matière organique.

Nous donnons, ci-dessous, quatre analyses de sols, assez typiques, faites dans notre laboratoire.

Glaises sablonneuses recueillies dans une plantation d'Elæis de 7 ans :

Pas de couverture : A.

Couverture de légumineuses moyennes : B.

Glaises sur Latérites. Vieille plantation de caoutchouc. Sol érodé, arbres pauvres :

Pas de couverture : C.

Couverture de *Crotalaria* et *Tephrosia*, établie grâce à du phosphate : D.

S O L				S O U S - S O L		
	C%	N%	C/N	C%	N%	C/N
A	1,95	0,17	11,47	0,86	0,075	11,47
B	2,01	0,17	11,82	0,86	0,070	12,29
C	1,148	0,091	12,63	0,864	0,050	17,70
D	1,244	0,093	13,38	1,425	0,044	32,40

D. — BILAN DE L'AZOTE DU SOL

Réf. : Pr. E. Gain, p. 256, Pr. A Pizon, p. 190, *Manual of Green Manuring* (Dépt Agric. Ceylan), M. Henry : *Terres Rouges d'Indochine*, Tropical Agriculturist.

1° PERTES

- a) *Evaporation d'ammoniaque.*
- b) *Lessivages par pluies.* Cela peut représenter en Europe 15 à 50 kgs d'azote à l'Ha. par an. En Malaisie (voir tableau inséré en fin de la première partie), cela peut atteindre 160 à 1.700 kgs par an.

MM. Holland et Joachim ont trouvé, dans une plantation de thé interplantée avec *Gliriciadia maculata* (5×5), environ 80 kgs d'azote par Ha. par an.

- c) *Exportation d'azote par les récoltes :*

En moyenne 7 kgs par Ha. par an pour l'Hevea,
 — 175 — — — l'Elæis.

2° GAINS

- a) *Azote ammoniacal et nitrique, amené par pluies.*
 L'expérience de Rothamsted a donné une moyenne, répartie sur 15 ans, de 6 à 10 kgs par Ha. par an.

Nous croyons que le chiffre de Wohlman (Henry, réf. citée, p. 27) s'applique mieux aux tropiques : 50 kgs par an, par Ha.

- b) *Fixation de l'azote libre, sous l'influence de l'électricité atmosphérique.*

Il est assez difficile de séparer ce phénomène du précédent. Il a certainement une assez forte importance dans les tropiques en raison de la forte tension atmosphérique. Nous n'avons pu relever, dans notre documentation, aucun chiffre s'appliquant à notre cas.

- c) *Absorption de vapeurs ammoniacales par la terre.* (Idem.)

- d) *Fixation de l'azote libre par certains organismes inférieurs : bactéries, algues, champignons et mousse.*

Un courant d'air continu dans une terre arable de 20 c/m d'épaisseur fixerait, par an, de 600 à 900 kgs d'azote. C'est un des moyens par lesquels les terres ne s'épuisent jamais en azote. La fixation est d'ailleurs dépendante de la quantité de matières hydrocarbonées que renferme le sol. (M. Pizon, p. 190.)

Si on n'oublie pas que la température optima pour les cultures des microorganismes varie entre 30° et 40° C., on supposera aisément l'intensité de leur activité sous les tropiques, tout au moins dans les sols favorables : poreuses, humides et riches en matières décomposables et en minéraux.

L'importance des phosphates, à ce propos, est considérable. Waksman a écrit (page 367) : « Dans le cas du Nitrobacter, il y a une relation nette entre l'azote et le phosphore de la cellule. » Les résultats pratiques enregistrés pour les phosphates se justifient donc théoriquement de tous les points de vue.

Nous n'avons trouvé aucune référence dans la littérature malaise, qui nous permette d'estimer la capacité productive de ces facteurs. Néanmoins, en considération des quantités énoncées d'azote perdues annuellement dans certains cas (voir analyse d'eau de drainage, fin de la première partie), (plus de 1,5 tonne perdue par un sol sans Légumineuses), nous sommes obligés d'admettre que ce facteur est d'une importance capitale dans certains cas, importance qui fait paraître bien négligeables les apports annuels en azote, d'une culture de Légumineuses non labourée.

Nous avons d'ailleurs l'intention d'étudier de près, dans l'avenir, ce problème capital. Tout ce que nous savons, pour l'instant, provient de nos tableaux d'analyses mensuelles de terres de lysimètres, qui montrent toutes une augmentation en N % importante au début de la saison des pluies de septembre-octobre.

e) *Enrichissement d'azote par les débris superficiels de plantes adventices.*

Ceci a été traité dans un paragraphe séparé. Il ressort de ce que nous avons écrit sur le sujet, que l'on peut espérer en moyenne et sous bonne couverture, une restitution d'azote égale au quart des retraits.

Sous couverture de Légumineuses à nodules (principalement Légumineuses dressées), ce résultat sera aisément atteint.

Sous couverture de plantes non Légumineuses et *favorables*, des teneurs sensiblement égales seront probablement obtenues, grâce à l'action favorable sur les organismes fixateurs

d'azote. Cette action est principalement marquée par la porosité du sol, sa protection et son enrichissement en matières organiques facilement décomposables.

f) *Enrichissement d'azote par racines de Légumineuses.*

Nous avons exposé nos observations qui tendent en général à n'admettre qu'un effet négligeable.

3° CONCLUSIONS

	Kgs par Ha et par an			
	Pertes		Gains	
	Max	Min	Max	Min
Lessivage par pluies	1700	80 ?		
Exportation par récoltes	170	7		
Absorption d'Azote naturelle et sous action de la pluie et electr. atmosphérique.			100 ?	50
Fixation par organismes inférieures			900 ?	0
Cycle des plantes: retrait-retour.	300	0		
Enrichissement par croissance de Légumineuses à nodosités.	—	—	80 ?	0
Totaux	2.110	87	1080	50
Moyenne collines mal couvertes	400 à 600 ?		50 à 100 ?	
bien couvertes	200 à 400 ?		100 à 300 ?	

E. — VARIATION DE LA TENEUR EN AZOTE DU SOL

On voit que, d'après nos estimations, le sol devrait tendre vers un appauvrissement rapide en azote, ce qui n'est d'ailleurs le cas que pour les teneurs supérieures à 0,1 % (sol).

Nous estimons que le sol moyen des collines en glaise sablonneuse répond aux analyses suivantes :

ORIGINE	S O L			S O U S - S O L		
	C%	N%	C/N	C%	N%	C/N
Sous forêt.....	4,00	0,35	11,43	1,25	0,12	10,00
Sous Culture non en rapport moyennement couverte (colline)...	2,00	0,17	11,77	1,00	0,08	12,50
Sous Culture en rapport mal couverte (colline)...	1,25	0,10	12,50	0,80	0,05	16,00

On peut estimer qu'une fois l'équilibre obtenu, le sol-type choisi perdra 0,070 % d'azote, sur une profondeur de 30 c/m. La densité apparente des sols moyens était de 1,25 l'hectare utile, pèse 3.750 tonnes, et la déperdition totale d'azote par Ha. sera de 2,6 tonnes, à répartir au moins sur 7 ans, soit près de 370 kgs par an.

La conclusion à tirer de tout ceci est que les sols s'appauvrissent en général peu à peu en azote, du fait d'une couverture insuffisante. Le bénéfice apporté par les Légumineuses n'est notable que dans les lieux suffisamment humides, en particulier les lieux plats, où l'azote ne manque pas (teneur en vieilles cultures plates variant de 0,2 à 0,3).

Il nous semble donc prouvé que le problème général à solutionner est beaucoup moins un enrichissement des sols en azote, qu'un *maintien de l'azote original*. (Comme nous le verrons, dans les paragraphes suivants, l'*utilisation des couvertures peu exigeantes en phosphates* est un facteur beaucoup plus important.) Ce maintien en N sera tout particulièrement facilité par une amélioration physique et humique du sol, qui peut être obtenue par toutes les plantes favorables, légumineuses ou non légumineuses.

M. Haines (*R. R. I.*, 1931, p. 89), dit à ce sujet, dans un article sur la fumure de l'Hevea :

« *Il est tout à fait probable que les nouvelles méthodes d'économie du sol, qu'on essaie sur les plantations d'Hevea, puissent rendre les sources naturelles d'azote amplement suffisantes pour les Heveas les plus producteurs.* »

D'après le reste du paragraphe, il apparaît que l'auteur fait allusion aux méthodes forestières, d'une part, et aux organismes du sol fixant l'azote libre, d'autre part.

En ce qui concerne les vieilles plantations érodées et appauvries, le problème consiste avant tout à renforcer la fertilité du sol, par ameublissement, augmentation de matière humique et augmentation annexe de rétention d'eau.

Nous lisons dans *Tech. Com.*, N° 28 (Imp. bureau of Soil Sc., p. 11), l'exposé des expériences de Gorsse qui ont montré que la capacité rétentive en eau de l'humus est *huit fois celle du sol*.

Nous croyons avoir prouvé que l'engouement pour les Légumineuses a poussé à des excès fâcheux. Le choix restreint de plantes a conduit à n'utiliser que des plantes donnant une couverture inadéquate. Le bilan s'est trop souvent soldé par une perte massive de la fertilité.

Nota. — Dans l'article de Stephenson et Fowells (Soil Sc. sept. 34) nous lisons que le brûlage fait perdre plusieurs centaines de kilogs d'azote par hectare, qui était retenu au taux de 2 % par l'humus forestier. N'y a-t-il pas là une critique grave de nos méthodes d'ouverture? Est-il judicieux de dépenser des sommes importantes à améliorer la teneur en azote du sol que l'on a ainsi délibérément appauvri en azote et minéraux vite entraînés par les pluies torrentielles?

III. — CYCLE DES MINÉRAUX DANS LES SOLS DES PLANTATIONS

A. — DISPONIBILITÉS DANS LE SOL

Nous indiquons, ci-dessous, les pourcentages moyens. Nous inscrivons entre parenthèses le poids disponible des minéraux en kgs par Ha., pour une épaisseur utile du sol de 10 c/m (le poids de l'Ha. est estimé à 1.250 tonnes).

Il faut se rappeler qu'en terres poreuses, la pénétration des racines étant trois fois plus grande, ces chiffres peuvent être multipliés par un coefficient analogue.

H A B I T A T	P ₂ O ₅ %		CaO%
	Soluble	Total	
Forêt	0.015 (187)	0.020 (250)	0.070 (875)
Jeunes cultures couvertes, en collines	0.010 (125)	0.015 (187)	0.050 (625)
Vieilles cultures mal couvertes, en collines	0.005 (62.5)	0.010 (125)	0.030 (375)
Remarques	parfois en traces seulement		parfois en traces seulement

B. — PERTES

a) *Retrait par les couvertures.* — Cette perte est toute temporaire. Elle sera rendue au sol au moment de la décomposition végétale. Ce retrait, tout temporaire qu'il soit, n'en est pas moins d'une importance primordiale dans les jeunes cultures. Les expériences, relatées dans un paragraphe ultérieur,

Plantes de Couvertures	Retrait en P ₂ O ₅ Kg/ha		Retrait en CaO Kg/ha		Poids humide couverture par tonne / ha	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Légumineuses traçantes	20.4	9.5	97.5	45.5	15	7
..... dressées	47.0	31.4	195.0	130.0	30	20
Non-Légumineuses traçantes et peu exigeantes.	7.5	3.5	15.0	7.0	15	7

Ceci explique que la Légumineuse, plante exigeante en minéraux (réf. Prof. E. Gain, p. 485), mobilise une grosse partie de l'élément soluble insuffisant, P^2O^5 . Dans les sols érodés, leur croissance ne pourra avoir lieu sans engrais phosphatés.

b) *Retrait par le lavage*. — Nos déterminations en terrains plats ont donné :

	P^2O^5	CaO
	—	—
Terres épaisses nues	traces	162,50
Terres organiques	traces	6,25

L'expérience déjà citée de MM. Joachim et Holland a donné, dans la plantation de thé de Ceylan (colline), environ 30 kgs de P^2O^5 . Ceci montre bien que les conditions sont entièrement différentes entre Ceylan et nos plantations de Malaisie. La Légumineuse peut faire merveille dans cette île, où les teneurs en phosphore semblent relativement élevées.

c) *Retrait par les cultures principales*. — D'après ce que nous avons dit au premier chapitre, on peut estimer pour le P^2O^5 , en moyenne, 2, 5 kgs (Hevea), 30 kgs (Elæis).

C. — GAINS

Ils ne proviennent que des déchets végétaux et des engrais. Ce n'est d'ailleurs qu'une restitution.

Il faut, néanmoins, ajouter un gain de phosphore assimilable par désagrégation de grosses particules.

Les éléments naturels sont, en général, responsables de cette œuvre. Mais dans les vieilles plantations, nous avons eu la preuve d'une solubilisation effective par action des plantes primitives, en particulier, *Lycopodium cernuum*. Cette expérience sera relatée en fin de la quatrième partie de cette étude.

D. — CONCLUSION

Les Légumineuses utilisées sont plus exigeantes, en général, en phosphore et chaux que certaines non-Légumineuses.

Dans tous les sols à teneur minérale faible elles ne devront (et le plus souvent ne pourront) être utilisées qu'avec des engrais calcaïques et phosphoriques.

IV. — CONSIDÉRATIONS PHYSIOLOGIQUES SUR LES LÉGUMINEUSES USUELLES

A. — LÉGUMINEUSES TRAÇANTES

a) *Calopogonium mucunoides*. — Cette plante est traçante, grimpante, d'établissement facile et rapide. Sa couverture est assez ouverte, n'arrêtant pas trop l'aération du sol. Elle ne tolère généralement pas l'ombre, s'étiole après trois ans, pendant les pluies, attaquée par la *Rhizoctonia solani* Kuhn (*Corticium vagum* : B. et C.). Elle est assez exigeante en minéraux et humidité. Sa croissance retarde fortement la culture principale. Elle ne tolère pas les saisons sèches prolongées pendant lesquelles elle crée un danger d'incendie.

b) *Centrosema pubescens*. — Plante traçante, grimpante. Elle peut être établie facilement en bons sols et aussitôt après le brûlage. Sa couverture est plus plate que celle du *Calopogonium*, qui la tient en échec. Elle est moins favorable à l'aération du sol que le *Calopogonium*. Elle est bien plus résistante aux maladies, et, en sols riches en phosphates et humides, elle tolère bien l'ombre. Ses besoins en minéraux actifs (P^2O^5 , K^2O , CaO) sont les plus faibles de toutes les légumineuses traçantes utilisées, ce qui en fait la couverture traçante préférée. Elle n'est favorable, d'une façon générale, que dans les terres poreuses. Elle ne présente des nodosités qu'en sols suffisamment humides, poreux et riches en minéraux.

c) *Centrosema plumieri*. — Cette plante a été utilisée sur une grande échelle, mais elle est maintenant abandonnée. Elle présente les mêmes inconvénients que le *Centrosema pubescens*. Son développement est moins favorable.

d) *Pueraria phascoloides* (javanica). — Plante traçante, grimpante, à développement énergique et rapide. Cette plante met en échec toutes les autres Légumineuses traçantes. Elle est fort utile là où il faut réduire les coûts de sarclage. Sa résistance aux maladies est assez bonne et elle tolère généralement l'ombre, lorsque le sol est humide et assez riche en phosphates.

Elle représente non seulement la couverture traçante la plus poreuse, mais elle est aussi la plus grande consommatrice en eau. C'est aussi la légumineuse traçante la plus effective pour

retenir le lavage. Elle est utile dans les sols plats, de texture moyenne, et dans les collines riches et poreuses.

e) *Vigna oligosperma* (Dolichos Hosei) — Plante traçante plate, d'un développement très lent en Malaisie. Elle est peu appréciée par les planteurs, en raison des coûts de sarclage élevés qu'elle entraîne. Elle est très peu résistante aux maladies : *Sclerotium Rolfsii* Sacc, *Corticium vagum*, *Pythium*. En principe, c'est la plante rêvée pour les vieilles cultures à sols poreux, où elle fait un tapis ne gênant pas l'exploitation. En pratique, ses besoins élevés en minéraux en font une couverture impossible, économiquement parlant, pour nos plantations malaises.

f) *Indigofera endecaphylla*. — Plante traçante. Elle fournit au sol, par la chute de ses feuilles, un apport humique très important. Elle forme une couverture assez haute et poreuse, avec racines assez pénétrantes. Elle est résistante aux maladies. C'est la couverture traçante que nous préférons, pour maintenir la fertilité du sol. Malheureusement, elle n'admet pas l'ombre et se développe assez lentement à la lumière, sauf en sols riches, poreux et humides. Ses besoins en minéraux sont les plus élevés de toutes les couvertures traçantes. Sa longévité est variable, parfois elle n'excède pas un an. Utilisée en *couverture unique*, elle cause des coûts de sarclage élevés, car elle n'est pas étouffante.

Cette plante n'est à utiliser qu'en sols riches, ou en combinaison avec des engrais chimiques, phosphatés et chaulés, et en association avec des espèces permanentes.

g) *Desmodium*. — Il existe, à l'état indigène, une vingtaine de différentes espèces de *Desmodium*, qui offrent un certain intérêt.

Nous n'avons malheureusement expérimenté que deux d'entre elles :

1) *Desmodium heterophyllum*. — Herbe traçante, assez courte. Elle fait, en lieux suffisamment humides, un tapis plat et épais, au bout de quelques mois. Elle ne tolère l'ombre que dans les ravins riches et humides. Peu économique de sarclage, elle n'a guère d'application dans les jeunes cultures. Dans les vieilles cultures, au contraire, elle est très appréciée à juste titre, là où elle veut bien pousser.

2) *Desmodium scalpe*. — Herbe mi-traçante, mi-dressée. Racines adventives fasciculées. Elle forme un couvert peu dense et peu favorable à l'ameublissement du sol. Sa capacité d'évaporation est bonne. Tolérant bien l'om-

bre, elle rend des services dans les terres poreuses et où le drainage parfait est difficile.

h) *Mimosa invisa*. — Plante mi-traçante, mi-dressée. Ses épines la rendent malheureusement inutilisable dans les plantations.

Elle tient l'*Imperata* en échec pendant la durée de sa vie, qui semble irrégulière. Elle n'est utilisable que dans les terres plus ou moins abandonnées, afin de régénérer le sol et de retarder ou d'empêcher l'invasion des graminées nuisibles.

i) *Conclusions sur les Légumineuses traçantes :*

— D'une façon générale, elles étouffent le sol, sauf l'*Indigofera*, et aussi la *Pueraria*.

— Le *Calopogonium* n'est guère utilisable, en raison de son manque de longévité. Mélangé au *Centrosema*, il le tient en échec.

— Les racines sont peu utiles à l'amélioration du sol, sauf celles de l'*Indigofera*.

— Leurs besoins en minéraux sont très élevés (excepté le *Centrosema*).

— Elles évaporent moins d'eau que les Légumineuses dressées (sauf le *Lamtoro*) et sont donc utiles dans les sols trop poreux et secs.

B. — LEGUMINEUSES DRESSEES

a) *Tephrosia candida*. — Arbrisseau atteignant environ 2 m. 50 à 3 mètres. Sa racine pivotante est très pénétrante, effectuant une bonne cultivation du sol. Il supporte assez mal l'ombre, sauf en terrains assez riches en phosphates (dont il est avide), et suffisamment humides.

Normalement, il ne vit qu'environ 4 ans et ne peut être utilisé en couverture unique. Sa germination est en général mauvaise, en raison d'une infection des gousses par insectes, très contagieuse à maturité. Les gousses doivent être cueillies avant l'infection et mises à mûrir sur des étagères sèches et désinfectées.

Il existe de nombreuses autres espèces du genre *Tephrosia*, qui sont assez fréquentes en association avec le *Tephrosia candida*. Généralement, à part peut-être le *Tephrosia Vogelii*, leurs caractères sont moins favorables.

b) *Crotalaria anagyroides*. — Arbrisseau utilisé également en grand. Son développement, qui peut dépasser 4 mètres,



Nodosités de Légumineuses dressées.



Greffes de 3 ans plantées en courbes de
niveaux.
(Couverture de Centrosema dépourvu de
nodosités.)



Une plantation de 5 ans greffée
depuis 6 mois.
(Couverture de Graminées.)



Nouvelles méthodes de couverture.

Comparaison des Légumineuses traçantes (droite) et d'une combinaison de Légumineuses traçantes et dressées (gauche).



Jardin grainier en forêt.
(Couverture de Tephnosca)

est un inconvénient qui le fait un peu déconsidérer par les planteurs. Sa poussée est très rapide; sa racine pivotante est moins pénétrante que celle du *Tephrosia*. Il s'accommode mieux de terres plus légères.

Les couvertures de *Crotalaria anagyroïdes* contiennent presque toujours des plants de *Crotalaria striata* et *usaramoensis*, et parfois encore d'autres espèces. Toutes les espèces du genre *Crotalaria* répondent assez bien aux mêmes caractéristiques que ce dernier. Elles semblent cependant moins favorables comme développement et longévité.

Cette plante est généralement utilisée en association avec le *Tephrosia*, dont elle aide, par sa poussée rapide, l'établissement.

c) *Leucaena glauca* (Lamtoro). — Arbre qui a un développement maximum supérieur à celui des deux plantes précédentes. Sa germination est meilleure que celle du *Tephrosia*. Sa poussée est si lente, qu'il est exceptionnel de la voir atteindre son plein développement dans nos sols de plantations. Son système de racines est particulièrement favorable pour retenir le sol.

Cette plante est à utiliser en association avec les couverts dressés précédents. Quand elle est bien établie et couvre bien le sol, c'est la couverture dressée préférée de certains planteurs pour sa petite taille et par la chute périodique importante de ses feuilles. Elle retarde moins la croissance de la culture principale que les deux précédentes.

d) *Conclusions sur les Légumineuses dressées.* — D'une façon générale, ces Légumineuses cultivent le sol, lui apportent un ombrage tamisé et des déchets de feuilles, qui favorisent la fertilité.

— Au cours des derniers quatre ans, nous avons fait couvrir des milliers d'hectares de jeunes cultures par ces plantes, avec les résultats pratiques les plus encourageants.

— Elles sont utiles en masses serrées dans tous les sols plats, lourds et mal drainés. Le sarclage devient ici inutile, à part un tour trimestriel pour l'*Imperata*. Des recoupages ne sont indispensables que pendant les deux premières années de la culture principale et augmentent le coût du sarclage de moitié pendant la première année (260 frs-Ha. au lieu de 170 frs-Ha.).

— Leur utilisation sur les collines demande plus de discrimination, en raison de leur forte évaporation. Pour l'*Hevea*, on peut risquer la couverture serrée en toutes terres non poreuses. Pour le Palmier, on ne peut guère dépasser la moitié inférieure

des collines importantes. Au-dessus, il faut s'en tenir à des rangées doubles, entre les intervalles de culture principale.

— Un recoupage au début de la saison sèche protège le sol, diminue la surface évaporante et pallie à l'inconvénient de ces plantes, utilisées en collines.

— Il est souvent utile de faire un mélange de couvertures traçantes et dressées. La couverture traçante ne doit être établie que de huit mois à un an, après la couverture dressée. A défaut de cette précaution, la couverture dressée ne peut se développer.

A ce sujet, M. Joachim écrit (page 11, réf. citée) :

« Les recherches faites à Paradeniya, depuis 1925, ont
« montré que, dans le cas des couvertures, il est perdu plus
« d'humidité à 60 centimètres de profondeur pendant les
« périodes de sécheresse, durant les deux premières années,
« que d'un sol nu. Le phénomène contraire se présente quand
« la couverture est bien établie et qu'une couche de matières
« organiques protège la surface... quand la pluie est inférieure
« au taux de 0,5 M, les couvertures dressées sont impraticables
« et ne peuvent être recommandées. »

En ce qui concerne les vieilles cultures, nous citons encore le *Manual of Green Manuring* :

« En ce qui concerne les Légumineuses dressées, la plante
« idéale n'a pas encore été trouvée. »

Nous sommes convaincus que, parmi les centaines de Légumineuses indigènes, nous trouverons bientôt une sélection favorable. Nous avons, néanmoins, observé que dans nos sols, aucune Légumineuse ne s'accommode de l'ombre en habitats pauvres et secs.

C. — LEUR EFFET SUR LES CULTURES PRINCIPALES

Nous résumons simplement les points que nous considérons acquis définitivement :

a) JEUNES CULTURES.

1) En terrains plats, sablonneux (voir R. R. I., réf. citées).

Le sarclage intégral, dit « propre », ainsi qu'une couverture de Lamtoro, est le traitement qui retarde le moins la croissance des jeunes arbres.

Le *Centrosema pubescens* et aussi le *Mimosa* et le *Pueraria*

ria, donnent les plus mauvais résultats. (Le *Centrosema* entraîne un retard de 24 % à 3 ans 1/2.)

Le *Calopogonium mucunoides* retarde nettement la croissance des jeunes plantes (après 3 ans 1/2, le *R. R. I.* signale 14 % de retard sur circonférence à 30 c/m du sol).

Le *Crotalaria anagyroides* et le *Tephrosia*, moins bons que le *Lamtoro*, déterminent des retards variables, suivant les sols.

La différence est moins nette là où la couverture est arrachée (Légumineuses dressées) ou enfouie (Légumineuses traçantes). Il n'y a, pour ainsi dire, aucun retard quand la couverture dressée est recoupée au début de la saison sèche.

Le *Mikania* (plante non légumineuse) se comporte moins mal que les Légumineuses traçantes.

2) *En collines*. — Le *Calopogonium* est remarquable pour retenir l'érosion au cours de sa vie courte. Le *Pueraria*, plus lent, triomphe à la longue. Les autres Légumineuses ne retardent l'érosion que dans des proportions plus faibles, spécialement les couvertures dressées.

Sur les pentes fortes, toutes les légumineuses améliorent la croissance par fixation du sol. Une combinaison de Légumineuses traçantes et dressées semble le remède le plus efficace apporté jusqu'à ce jour à la réduction de l'érosion.

Nous ne croyons pas que le dernier mot soit dit à ce sujet. L'observation de parcelles expérimentales couvertes de plantes adventices favorables étagées (non légumineuses) semble montrer qu'il est possible d'enrayer intégralement l'érosion sans avoir à étouffer la terre par un tapis compact et épais. La grande porosité du sol qui s'établit alors naturellement résout le problème mieux que les couvertures traçantes ne pourraient le faire.

3) *Retard causé à la mise en exploitation productive*. — *Terrains plats*. — Comparés au sarclage « propre », les Légumineuses ne retardent la mise en exploitation que dans les sols plats et où les bois de forêt, incomplètement brûlés, ralentissent largement l'érosion. Le retard varie de rien à un an. Il est compensé ultérieurement par une meilleure croissance des arbres.

Les Légumineuses traçantes confirment leur valeur en terrains poreux; les Légumineuses dressées, en terrains lourds. Dans ces cas extrêmes, il y a un effet bienfaisant qui annule les retards habituels de mise en exploitation dans ces sols.

— *Collines*. — Toutes les couvertures sont favorables à la croissance de la culture principale par fixation du sol. Elles pal-

lient plus ou moins les retards habituels de la mise en exploitation sur les collines. Ces retards, pour les sols mal couverts, peuvent atteindre 5 ans, mais ne dépassent pas en moyenne 1 à 2 ans.

**

Il ne faut d'ailleurs pas attribuer tous ces bienfaits au fait que la plante de couverture est une Légumineuse.

La plupart de ces plantes, spécialement les traçantes, se comportent comme de vulgaires non-Légumineuses, dont les besoins excessifs en minéraux se manifestent brutalement au cours de l'établissement, par un arrêt de la croissance de la culture principale.

Les expériences, utilisant des non-légumineuses comme plantes de couverture, sont malheureusement trop jeunes pour permettre des conclusions. Les indications sont toutefois très encourageantes.

Les retards importants (1 à 3 ans) causés par certaines graminées nuisibles, utilisées à un moment donné en couverture unique, ne peuvent être évidemment imputés à leur qualité de « non-légumineuses », mais à un choix malheureux et surtout à une sélection trop restreinte.

4) *Expériences se rapportant particulièrement au Palmier à huile.* — Comme, à notre connaissance, rien n'a été publié sur la question, nous croyons bon de résumer ci-dessous les résultats de nos expériences sur l'Elæis, qui confirment les vues générales exposées au paragraphe précédent. Les « témoins » sont tous sarclés « propres ».

Sol plat (terre de marais). — Le *Centrosema* améliore nettement la croissance de l'Elæis au cours des premières années. La différence s'atténue au cours des années suivantes, pour être sensiblement égale à l'erreur probable, vers la quatrième année.

Sol ondulé (glaise). — Le *Centrosema* et le *Pueraria* retardent la croissance de 30 % au cours de la première année. Le retard s'atténue au cours des années suivantes, pour être égal à l'erreur probable vers la cinquième année.

Sol de plaines sablonneuses peu inclinées (alluvions de quartzite). — Les couvertures plates retardant la croissance au cours des deux premières années, nous avons gardé le sol sarclé propre pendant deux ans. Puis on a établi des couvertures variées, à raison de quatre parcelles par objet.

Nous donnons, ci-dessous, la moyenne des augmentations de hauteur au cours de la troisième année.

Parcelles	P L A T		Colline	
	% aug.	% par rapport à Témoin.	% aug.	% par rapport à Témoin.
Témoin "propre"	65%	100%	45%	100%
Crotalaria anagyroides	60%	92%	59%	131%
Tephrosia candida	65%	100%	55%	122%
Leucaena Glauca	71%	109%	53%	118%
Pueraria jav.	48%	75%	45%	100%
Centrosema pubescens	52%	80%	55%	122%

Sol de latérite ondulé. — Le Centrosema a apporté, au cours de la première année, un retard de 50 % sur la croissance. Ce retard est en partie regagné en fin de troisième année par une augmentation annuelle plus rapide des parcelles sous couverture. Le Centrosema, n'ayant pas de nodosités, a agi comme une couverture traçante ordinaire, diminuant les méfaits de l'érosion, mais avide de phosphates.

Augmentations de hauteur au cours de la troisième année

	% augmentation	% par rapport à témoin
Témoin "propre"	38 %	100 %
Centrosema pubesc.	49 %	175 %

b) VIEILLES CULTURES.

Ici, l'expérience est peu étendue. Il y a si peu de vieilles cultures bien couvertes que les observations ne sont pas encore aptes à la généralisation.

Nous avons dit que les Légumineuses se répandaient bien, par exceptions, en terrains plats et suffisamment humides. Leur effet y est toujours favorable, comparé au sarclage propre. Par contre, comparé à la valeur d'autres espèces, non-légumineuses, leur avantage est sujet à la discussion.

Le sol demande un apport de matière organique beaucoup plus faible que dans les ouvertures. Par contre, il demande un ameublissement beaucoup plus important, car les racines d'Heveas puisent leur nourriture sur la totalité du sol.

En ce qui concerne les vieilles cultures, nous n'hésiterons pas à affirmer qu'aucune Légumineuse employée ne résoud la question. D'autre part, le nombre des non-légumineuses qui agissent favorablement, est important.

D. — CONCLUSIONS SUR LES LÉGUMINEUSES USUELLES

Toutes les considérations et observations, réunies dans ce qui précède, montrent que la Légumineuse n'a pas, généralement parlant, justifié la grande faveur qui l'a accueillie.

La gravité de l'érosion a malheureusement poussé à appliquer en grand des couvertures importées, sans connaître leur effet exact sur les sols indigènes.

Doit-on pour cela les condamner? Certes, non. La connaissance étendue de ces plantes nous permet de déterminer, dans quels habitats elles sont utiles, ou du moins utilisables.

En attendant que les essais répétés aient développé la connaissance d'autres espèces, Légumineuses ou non, il faut bien continuer à utiliser ce dont on dispose.

Nous croyons que les dernières années ont déjà apporté un gros progrès, grâce à la faveur croissante des Légumineuses dressées. Le mouvement n'en restera pas là. Les recherches des Agronomes de Malaisie (et celles de notre groupe) aboutissent à une plus large conception du besoin des sols :

**Variété des associations,
encourageant des espèces favorables.
Non-exclusion des espèces non Légumineuses.**

La méthode de culture employée actuellement sur les jeunes cultures tend vers un sarclage propre, en dehors d'une couverture de Légumineuses. Le résultat économique en est déplorable. Au cours des cinq années qui précèdent la mise en exploitation, le planteur dépense en moyenne, en Malaisie, 600 francs par Ha., pour retirer des plantes adventices, dont une bonne proportion est souvent plus favorable au sol que la couverture utilisée. Lorsqu'on compare ce chiffre énorme pour une plantation de 4.000 Ha. (cela revient à 2 millions 400.000 francs!), au coût d'un épandage de phosphate (150 francs pour 450 kgs par Ha.), on est obligé d'admettre qu'il y a disproportion et que la méthode est, *a priori*, peu économique.

Cela reviendrait beaucoup moins cher de tolérer un grand nombre de plantes adventices, favorables à la bonne texture du sol, mélangées à des couvertures légumineuses, et d'ajouter éventuellement un épandage d'engrais azotés, afin de remplacer l'effet théorique des Légumineuses. Un épandage de cyanamide

calcique, luxe inutile, ne coûterait pas plus de 300 francs par Ha. (500 kgs à l'Ha.) et apporterait, en général, au sol plus d'azote que la légumineuse. Ajoutons que neuf cas sur dix ne justifient pas la valeur économique d'un apport azoté dans les jeunes cultures (du moins en Malaisie; en Indochine, les résultats ne concordent pas). Cet apport ne se justifie que dans les vieilles cultures d'Elæis.

Nous avons dit que les Légumineuses apportent, lorsqu'elles sont recoupées, en tonnes par Ha. et par an :

	<i>Légumin. dressées</i>	<i>Légumin. traçantes</i>
Maximum	30	15
Minimum	20	7

Signalons que ces apports, qui semblent considérables au planteur, ne sont encore qu'infimes, comparés à la production annuelle d'humus dans la forêt.

M. Vageler (réf. citée) indique les chiffres suivants :

	<i>Apport annuel par Ha.</i>
Forêt vierge primitive	250 tonnes
Forêt vierge dite « de Mousson ».	50 —

« En raison de la décomposition accélérée en climats tropicaux, les 250 tonnes de la forêt vierge ne produisent pas plus d'une épaisseur de 3 m/m d'humus. »

Il est donc possible de dire qu'aucune des plantes de couverture, utilisées jusqu'à maintenant, ne place le sol des plantations en un état se rapprochant de celui des forêts.

Il nous faudra donc, probablement, envisager à l'avenir des méthodes d'ouverture moins brutales pour le sol et plus économiques en matière organique.

V. — ETABLISSEMENT DES LEGUMINEUSES DANS LES SOLS PAUVRES ET DANS LES VIEILLES CULTURES

A. — ETABLISSEMENT DES LEGUMINEUSES DANS LES MAUVAIS SOLS DES JEUNES CULTURES D'HEVEAS

D'une façon générale, cet établissement est facile et ne présente aucune difficulté lorsqu'il a lieu immédiatement après le brûlage.

Lorsque le sol est érodé ou bien spécialement pauvre, la croissance est si lente que le lavage empêche les jeunes pousses de se développer. Les unes sont arrachées, les autres trop exposées, ne se développent pas.

On obtient alors une réussite certaine en ouvrant, avec une houe, des poches à flanc de colline, et en enfonçant de plusieurs centimètres les graines dans le sol. Après germination, on épand, si nécessaire, au-dessus des trous, du phosphate de roche.

a) *Expérience d'application de phosphate.* — Lorsque la couverture est pauvre, le phosphate de roche est également l'adjuvant nécessaire de la plante, qui, en six mois, la transformera en un tapis luxuriant, même dans les collines les plus escarpées.

Une de nos expériences a donné, en 1933, le résultat suivant :

Culture : Caoutchoucs plantés en décembre 1928.

Sol : Colline très escarpée, argile glaiseuse.

Couverture : *Centrosema* très pauvre.

Répétition : 3 parcelles par objet de 100 arbres (Ha. : 0,4).

Nous transcrivons le rapport du directeur de la plantation :

« Cette expérience, dans son sixième mois, donne des « résultats extraordinaires.

« La couverture était très irrégulière et pas du tout « épaisse. La différence entre les lots phosphatés et les témoins « est maintenant étonnante. La couverture a une couleur verte « resplendissante et peut être appelée luxuriante en qualité. « Les arbres présentent une amélioration de feuillage. »

Les doses adoptées étaient de 30, 60 et 120 grammes au mètre carré, épandus à la volée, soit : 300, 600 et 1.200 kgs à l'Ha.

La plus faible dose a suffi, dans la majorité des cas. La plus forte ne montre aucun avantage sur la moyenne. La tonne de phosphate de roche coûtant 300 francs, le prix de revient, y compris l'épandage, est de 100 à 200 francs l'hectare pour les doses : 30 et 60 grammes.

Augmentation moyenne de diamètre des arbres au cours de la première année suivant l'application de phosphate :

	% moyen	% par rapport au témoin
Témoin	36,5 %	100 %
30 gr. phosphate par m ² ..	47 %	129 %
60 — — — ..	43,5 %	119 %
120 — — — ..	41,5 %	114 %

b) *Expérience d'application de chaux.* — Dans un bloc contigu, une expérience similaire utilisait la chaux :

Culture : Heveas plantés en décembre 1928.

Sol : Glaise, sommet et flanc de colline.

Répétition : 5.

Mensurations semestrielles : Circonférence à 1,20 M de hauteur, de 11 arbres marqués dans chaque parcelle.

Aucune amélioration visible de la couverture ni des arbres.

Couverture : *Centrosema pubescens*, assez épais; pas ou peu de nodosités.

Application de l'engrais : Octobre 1932.

Résultats moyens en juin 1933.

	Circonférence en pouces :	
	Novembre 1932	Juin 1933
Témoin	10	11 1/2
450 kgs de chaux à l'Ha.	10 1/4	12
900 — — — .	8 3/4	10 3/4
1.350 — — — .	9 1/2	11 3/4
1.800 — — — .	9 1/2	11 1/4
2.200 — — — .	9 3/4	11 1/2

Aucune amélioration visible de la couverture ni des arbres.

**

Répétition de la même expérience, dans un bloc voisin.
Mêmes caractéristiques. Le sol est plus lourd : argile glaiseuse.

	Novembre 1932	Juin 1933
Témoin	9,8	12 1/4
670 kgs de chaux à l'Ha.	11	13 1/2
1.120 — — — .	10	11 1/2
1.570 — — — .	10	12
2.000 — — — .	10	11 3/4

Aucune amélioration visible.

c) *Expérience d'application d'azote.* — Dans un bloc voisin, mêmes caractéristiques.

Sol : Argile glaiseuse. 3 lbs. par arbre d'engrais azoté, appliquées en deux fois : décembre 1932 et juin 1933.

	Sulfate d'ammoniaque 20 % N.	Cyanamide calcique	Témoin
Décembre 1932.	100 %	100 %	100 %
Juin 1933.....	117,8 %	114,6 %	118 %
Décembre 1933.	145,4 %	142,7 %	155 %

Aucune amélioration visible.

En juin 1934 on nous signale une très légère amélioration (de 5 à 6 %) en faveur des parcelles azotées.

*
**

Nous arrêtons là l'exposé de nos expériences d'engrais. Ayant environ 50 expériences en terrains variés couvrant 1.000 hectares, leur exposé sortirait du cadre de cette étude. Notons simplement que si les engrais à base de phosphate donnent toujours des résultats, les autres n'en donnent que dans des cas exceptionnels. Les engrais qui retiennent notre attention pour leur effet sur la couverture, et ultérieurement sur la culture principale, sont : le phosphate de roche, certains phosphates organiques, phosphates d'ammoniaque (Nicifos) et surtout les Scories (économiquement moins intéressantes).

d) *Essais de germination.* — Avant de clore ce paragraphe, donnons les résultats d'essais de germination qui ont permis de faciliter considérablement l'établissement des couvertures.

Traitement optimum des graines, avant semis :

Centrosema : Sacs plongés dans l'eau pendant 12 heures avant le semis. Si possible, plonger dans un drain en terre de marais (eau brune, riche en nitrates).

Crotalaria : Sacs plongés 24 heures avant le semis.

Lamtoro : Traitement de 10 minutes à l'acide sulfurique, 22° Beaumé.

B. — ETABLISSEMENT DE LEGUMINEUSES SOUS VIEILLES CULTURES D'HEVEA

Nous énonçons dans l'ordre chronologique les expériences types faites :

1929-1930. — De nombreuses expériences furent tentées, basées sur le transport de boutures reprises dans des récipients poreux, variés : coquilles de noix de coco, morceaux de bambous creux, etc... Du fumier, des engrais azotés, combinés ou non, ont été essayés sans succès. Résultat pratique nul, sauf dans les terrains riches et suffisamment humides, en particulier les terrains plats.

Un essai-pépinière, dans une clairière de vieilles cultures très érodées, a été tenté sur une de nos plantations, en 1929. Une trentaine de Légumineuses, herbes et arbustes, ont été plantés sur des terrasses étagées.

La croissance, malgré un apport répété d'engrais complet (Nitrophoska) et une infection du sol par terreau pris dans un champ de légumineuses, a été si irrégulière qu'en 1931 l'expérience fut abandonnée. (Le *Centrosema* s'était cependant assez bien répandu.)

a) *Sol argileux, plat et humide* (expériences faites en 1931). — 120 grammes par mètre carré d'un mélange organique, dosant : 3 % N, 12 % P^3O^5 et 5 % K^2O donnent, avec des boutures de *Centrosema*, une belle croissance, alors que le témoin produit une légumineuse trop chétive.

Un résultat inattendu de cette expérience en sol particulièrement acide est que, des deux mélanges de même composition employés, l'un à réaction acide, l'autre basique, le mélange acide a donné une bien meilleure croissance.

250 kgs par Ha. de phosphate de roche ont provoqué les meilleurs résultats, ultérieurement.

Le *Vigna oligosperma*, établi aussi en boutures, avec les mêmes engrais, a donné un échec complet.

b) *Sol glaiseux, terrain assez sec, collineux*. — Les semis de *Centrosema* ont eu un meilleur départ avec le mélange organique complet qu'avec du phosphate seul. Plus tard, les jeunes plants ont souffert du lavage et du manque de soleil. Ils ne se sont pas développés.

Les boutures de *Centrosema* ont mieux donné, bien que

le résultat soit également pauvre. Le Vigna et le Pueraria ont conduit à un échec.

c) *Sol légèrement en pente, glaiseux, assez humide.* — Les échecs précédents étant attribués principalement au lavage et à la mauvaise texture du sol, nous avons légèrement ameubli et nettoyé la surface du sol. Les graines de Centrosema furent semées en ligne, en semis très denses. Tous les 25 mètres, une petite pépinière de 50 c/m à 1 mètre carré, spécialement soignée, fut préparée. Les boutures de Pueraria furent plantées à distance assez rapprochée.

Tous les engrais phosphatés ont donné, en un an, une couverture parfaite. L'infection, par terre à bactéries, ainsi qu'engrais azotés et potassiques, n'a produit aucune amélioration. La présence de l'azote semble seulement utile pour accélérer le départ.

Le champ (4 Ha.), n'a malheureusement pas été divisé en parcelles, et on a utilisé comme témoin un champ voisin. Les rendements en caoutchouc sec furent les suivants :

	<i>Témoin</i>	<i>Champ expérimental</i>
1929	100 %	74 %
1930	100 %	86 %
1931 (9 mois)	100 %	87 %
1931-32 (13 mois)	100 %	122 %
	(635 kgs/Ha.)	(780 kgs/Ha.)

Il semblerait donc, quoique la méthode de contrôle soit largement ouverte à la critique, que l'effet combiné du léger labourage, du Centrosema, du Pueraria, et de l'engrais phosphaté, ont amené une sérieuse augmentation de rendement.

Le coût par Ha. fut malheureusement considérable, en raison des apports répétés d'engrais et du soin constant qui y fut apporté. Ce coût dépassa 1.000 francs par Ha.

d) *Pente légère, sol érodé, mais assez fertile en glaise* (expériences faites en 1932-34). — Culture : Heveas de 15 ans.

La tentative précédente ayant été un succès technique, sinon économique, nous avons appliqué les enseignements recueillis pour tenter, d'une façon économique, d'établir la couverture en sols légèrement en pente.

Chaque travail fut chronométré, et le prix soigneusement enregistré.

Le tableau suivant résume les différents coûts.

P R I X d'ÉTABLISSEMENT par HECTARE

	CENTROSEMA				PUERARIA	
	Graines.		Boutures.		Boutures	
	ordin- aires	avec acide	ordin- aires	repi- ses	Ordin- aires	reprises
	Francs	Francs	Francs	Francs	Francs	Francs
Témoin	102	115	93	119	93	119
Phosphate	172	182	165	191	165	191
Nitrophoska	330.00	342.00	320	292	320	292
Mélange complet	248	261	238	264	238	262
" acide						
" basique						
Fumier	161	194	172	198	172	198
Fumier et phosphate	227	240	198	270	198	270

Le signe / / indique les procédés donnant les meilleurs résultats, avec une dépense raisonnable, permettant l'application en grand.

Ces prix peuvent être réduits de 20 %, si le travail est entrepris sur plusieurs centaines d'hectares.

La couverture fut semée à raison de deux rangées de 0 m. 90 entre les lignes d'arbres. Le labour du sol ne dépassa pas 5 c/m de profondeur.

Le semis fut fait au moment le plus favorable, c'est-à-dire un mois avant l'hivernage, de façon à avoir le maximum de lumière pendant la période critique du développement.

Les graines furent semées au taux de 17 kgs par Ha., et les boutures (3 par bambou), au taux de 1.650 bambous par hectare.

Tous les engrais chimiques furent épandus au taux de 185 kgs par Ha.; le fumier au taux de 3 tonnes par Ha.

Le Pueraria a donné de mauvais résultats, sauf en boutures reprises dans des bambous creux.

La seule bonne couverture établie après deux ans est le Centrosema engraisé au phosphate de roche.

Les parcelles traitées au fumier bien séché sont plus mauvaises que le témoin. Le fumier a probablement mobilisé l'azote disponible du sol, pour effectuer une décomposition sans profit pour la couverture. (Ce phénomène est signalé en Europe par de nombreux auteurs.)

e) *Pente forte, glaise sur sous-sol de latérite.* — Nous avons voulu appliquer nos connaissances à l'établissement du Centrosema, dans le cas assez fréquent d'une pente forte et érodée.

Après de nombreux essais qui tournèrent en échecs : petits drains de protection et légumineuse plantée sur rebord inférieur, sillons, etc., nous avons adopté l'usage des plates-formes-îlots

de bonne terre surélevés du sol d'environ 30 c/m. Ils sont à 3 mètres les uns des autres; c'est le seul moyen de préserver les jeunes plantes de l'érosion. Le phosphate fut appliqué en deux fois, totalisant 240 grammes par plate-forme, soit 265 kgs à l'Ha.

En un an, la croissance est belle sur les plates-formes et le *Centrosema* commence à se répandre sur le sol avoisinant. Le coût par Ha. est de 250 francs.

f) *Pente moyenne, glaise sur sous-sol de latérite, établissement de Légumineuses dressées.* — L'essai a eu lieu dans une très vieille plantation, à sol très érodé. Les arbres ont un aspect peu engageant, canopies non jointives, écorce pauvre et dure, rendements faibles (350 kgs à l'Ha.).

Le *Crotalaria anagyroïdes* et le *Tephrosia candida* formaient une belle couverture, six mois après le semis en poquets et l'application de phosphate au taux de 300 kgs à l'Ha.

Un an après l'établissement et après deux recoupages de la couverture, le sol fut analysé :

	C	N	C/N	P ₂ O ₅ total	K ₂ O total	CaO	MgO	p.H.
Témoïn nu sol.....	1.148	0.091	12.6	0.0116	0.0087	0.062	0.0031	4.515
ss-sol.....	0.684	0.050	17.7	0.0134	0.0277	0.048	0.0025	4.691
Sol couvert de légumineuses sol	1.244	0.093	13.3	0.0118	0.0231	0.053	0.0026	4.492
dressées ss-sol	1.425	0.044	32.4	0.0104	0.1173	0.056	0.0023	4.714

Les résultats sont assez décevants. Les engrais verts ont augmenté la teneur en carbone, mais peu ou pas la teneur en azote. Il n'y a guère de traces de l'acide phosphorique ajouté, qui se trouve soit enfermé dans la plante, soit enlevé par l'érosion.

Il semble que la teneur en potasse ait augmenté, et cela s'explique par une diminution des éléments ne passant pas au tamis de 2 mm. de 6.30 % à 1.69 %. Les racines ont évidemment accéléré la décomposition de ces éléments grossiers, riches en minéraux.

Comme l'analyse chimique ne tient pas compte de ces éléments, l'augmentation des teneurs en potasse apparaît plausible.

C. — CONCLUSIONS

Les expériences que nous avons succinctement relatées dans les pages qui précèdent démontrent les besoins en phosphates de nos sols et l'utilité des phosphates lentement solubles. Ils



Deux parcelles en régénération accélérée.
Légumineuses dressées établies en 6 mois; grâce à du
phosphate et grâce à la lumière filtrante à travers des
canopies très pauvres.

démontrent aussi que la Légumineuse, du moins le Centrosema, peut être établie partout, en jeunes et vieilles cultures.

Mais aucune expérience ne prouve que cela soit une opération judicieuse, économiquement parlant. La couverture légumineuse, sous vieille culture, en collines, demande un soin constant, et le coût initial est loin d'être le seul à entrer en jeu. S'il faut de 150 à 250 francs par Ha., pour l'établir plus ou moins bien, il faut encore souvent mettre en ligne de compte une dépense égale pour l'amener à couvrir le sol d'une façon suffisante.

Naturellement, ces chiffres ne s'appliquent qu'aux cultures érodées. Pour les cultures prises à temps, phosphatées avant que la canopie des arbres ne vienne intercepter la lumière et faire mourir la couverture, on peut arriver à maintenir cette couverture par des apports répétés de phosphate, au taux de 30 gr. au mètre carré chaque fois, c'est-à-dire 300 kgs à l'Ha. (soit 100 francs par Ha.). La fréquence des apports de phosphate sera réglée par l'intensité de l'érosion.

Ces dépenses sont-elles justifiées?

Les engrais azotés, coûtant sensiblement le double du phosphate par unité, il faudrait que chaque kilogramme d'acide phosphorique ajouté permette au sol de récupérer un demi-kilo d'azote libre, fixé par les nodosités. Il faudrait aussi que le sol ait besoin d'azote; or, l'expérience montre que ce n'est pas le cas général.

Nous pouvons donc dire que l'établissement des Légumineuses en question, en collines et sous vieilles cultures d'Hevas, n'est pas une opération logique, dans la plupart des sols considérés.

*
**

Le problème sera plus économiquement résolu de la façon suivante :

a) *Maintien de la fertilité.* — Introduire les espèces tolérant l'ombre, avant que ne disparaissent celles qui ne vivent qu'à la lumière.

a bis) *Reconditionnement des sols érodés*, par plantes peu exigeantes, vivaces et robustes. Celles-ci seront à peu près obligatoirement des non-légumineuses. Ultérieurement, les Légumineuses pourront peut-être être introduites.

b) *Epandage d'engrais calcaires et phosphatés*, afin de tenir compte des nouvelles conditions œcologiques moins favorables lorsque l'éclairement diminue.

Cet épandage, utile pour les plantes non légumineuses, ne devient indispensable que pour les Légumineuses considérées.



En ce qui concerne les vieilles cultures de *Palmier*, le problème se présente de façon différente. Le sous-étage bénéficiant d'un éclaircissement beaucoup plus important que sous les Heveas, la Légumineuse sera beaucoup plus aisée à maintenir. D'autre part, le besoin d'engrais organique est une nécessité (pour rétention de l'humidité, de N et P^2O^5). On combinera alors utilement les coupes de *Légumineuses dressées* enfouies avec l'engrais chimique.

VI. — LEGUMINEUSES OFFRANT DES POSSIBILITES COMME PLANTES ADVENTICES

Nous donnons ci-dessous la liste succincte de ces Légumineuses. Sur la moitié d'entre elles nous n'avons que peu de renseignements. Les autres sont représentées dans nos champs d'essais et nous espérons, d'ici quelques années, être en mesure de tirer des conclusions positives.

Nous avons donné, en particulier, une liste d'arbres utilisés à Java et à Ceylan, et parfois en Malaisie, comme arbres d'ombrage. Nos cultures principales n'ont pas besoin d'ombrage, mais nous avons lieu de croire que certaines de ces espèces arborescentes ne présenteraient qu'un développement faible et satisfaisant sous vieilles cultures, et apporteraient aux sols érodés un élément de reconstitution non négligeable.

Nous avons utilisé les abréviations suivantes :

Java = Plante utilisée dans les plantations de thé de Java.

Ceylan = Plante utilisée dans les plantations de thé, de café, cacao ou caoutchouc à Ceylan.

Indo = Plante adventice trouvée sur nos plantations de Cochinchine et Cambodge.

A. — LEGUMINEUSES OFFRANT DES POSSIBILITES DANS LES JEUNES CULTURES

a) *Plantes traçantes et grimpanes.*

Centrosema pubescens. Prain. — Voir chap. IV.

Centrosema plumieri. Prain. — Voir chap. IV.

Pueraria phaseoloïdes. G. Benth. — Voir chap. IV. (Java, Indo), parfois à l'état indigène en Malaisie.

Desmodium heterophyllum. D. C. — Voir chap. IV. (Java, Indo). Très fréquente à l'état indigène.

Desmodium scalpe. D. C. — Voir chap. IV. (Java.)

b) *Buissons*.

Crotalaria verrucosa. Linn. — Herbe-buisson, atteignant 0 m. 60 de haut, fréquente en Malaisie, au bord des routes.

Crotalaria quinquafolia. Linn. — (Indo.) Herbe annuelle de 0 m. 30 à 1 m. 20, moyenne dans champs incultes.

Flemingia strobilifera. Baker. — Buisson atteignant 0 m. 60 à 1 m. 20 de haut. Fréquent en Malaisie, dans les terres incultes sèches, au bord des routes, etc...

Clitoria cajanifolia. G. Benth. — (*Clitoria laurifolia* Poir.) — (Java, Ceylan.) Remarquable pour empêcher l'érosion. Il a des racines profondes et se rencontre parfois au bord des routes en Malaisie.

Indigofera endecaphylla. — Voir chap. IV (Ceylan.) Buisson très effectif pour empêcher l'érosion. Tolère un peu l'ombre; très résistant aux maladies. Utilisé en Malaisie sur certaines plantations de Gutta-percha. Semble très favorable pour nos cultures.

Indigofera hirsuta. Linn. — (Ceylan, Indo.) Herbe annuelle à nombreuses ramifications, ayant 0 m. 30 à 0 m. 90 de haut. Pousse spontanément en Malaisie, en sols sablonneux assez humides. Les expérimentateurs de Ceylan se plaignent de sa vie brève.

Indigofera arrecta. Hochst. — (Java, Ceylan.)

Indigofera suffruticosa. Mill. — Ce buisson présente le même inconvénient que le précédent.

Tephrosia subamæna. Prain. — Herbe-buisson, atteignant 0 m. 60. Pousse spontanément dans les terres incultes.

Tephrosia noctiflora. — Bojer. (Java.) Buisson à nombreuses ramifications à la base. Pousse spontanément en Malaisie dans les terres incultes et au bord des routes.

Tephrosia toxicaria. — Utilisé en Malaisie dans certaines plantations de Gutta-percha, comme couverture.

Urania crinata. Baker. — (Indo.) Buisson atteignant 0 m. 50 à 1 m. 50. Assez fréquent en Malaisie, dans les terres incultes.

Desmodium polycarpum. D. C. — (Indo.)

Desmodium heterocarpum. D. C. — (Java.) Buisson dressé atteignant 0 m. 60 à 0 m. 90. Fréquent en Malaisie, dans les champs d'*Imperata*.

Desmodium ovalifolium. Prain. — (Indo.) Buisson plus ou moins rampant. Fréquent en Malaisie, dans les champs incultes et au bord des routes.

Desmodium capitalum. D. C. — (Indo.) Idem.

Cassia obtusifolia. Linn. — (C. Tora L.) (Java, Indo.) Buisson atteignant de 0 m. 60 à 0 m. 90. Très fréquent en Malaisie, en terres incultes.

Cassia occidentalis. Linn. — Buisson atteignant 0 m. 60 à 1 m. 20. Fréquent en terres incultes.

Derris sp. Baker. — Nombreuses espèces de buissons, plus ou moins grimpants, qui poussent en Malaisie à l'état indigène.

Mimosa sp. Linn. — (Voir chap. IV) (Indo, Ceylan, Java.) Abondant à l'état indigène; inutilisable dans les plantations à cause de ses épines.

c) Arbustes.

Crotalaria anagyroides. H. B. K. — (Voir chap. IV) (Java, Ceylan.)

Crotalaria striata. D. C. — (Voir chap. IV) (Java, Ceylan, Indo.) Fréquent dans les terres incultes malaises.

Crotalaria usaramænsis. Baker. — (Java, Ceylan.) (Voir § III.)

Flemingia congesta. Baker. — Arbuste atteignant 1 m. 50. Fréquent dans les terres incultes sèches.

Tephrosia candida. D. C. — (Voir chap. IV.) (Java, Ceylan.)

Tephrosia vogelii. Hook. — (Voir chap. IV.) (Java, Ceylan.)

Cassia glauca. Baker. — Arbuste atteignant 3 à 6 m. N'existe que dans les champs cultivés.

Leucaena glauca. G. Benth. — (Voir chap. IV) (Java, Ceylan.) Pousse à l'état indigène dans les terres incultes.

Desmodium gyroïdes. D. C. — (Java, Ceylan.) Buisson atteignant 1 m. 80 à 2 m. 70. Système racinaire très développé. Très apprécié à Java; il rend peu de services à Ceylan, où il meurt après un an ou deux.

- d) *Arbres*. (Leur introduction sur les plantations n'est recommandable que plusieurs années après l'ouverture.)

Erythrina lithosperma. Miq. — (Java, Ceylan.) Arbre atteignant 12 à 18 m. de haut. Utilisé comme arbre d'ombrage en Malaisie, dans certaines plantations de Gutta-percha.

Dalbergia microphylla. — Utilisé comme arbre d'ombrage en Malaisie, dans certaines plantations de Gutta-percha.

Peltophorum sp. Baker. — Nombreuses espèces d'arbres atteignant 18 à 24 m. de haut; assez fréquents en Malaisie dans les sols côtiers et en forêt peu dense. Utilisé en Malaisie pour ombrage dans certaines plantations de Gutta-percha.

Adenanthera puvonina. Linn. — Arbre atteignant 6 à 9 m. de haut; utilisé pour ombrage, dans certaines plantations de Gutta-percha.

Acacia villosa. — Arbre d'ombrage utilisé en Malaisie, dans certaines plantations de Gutta-percha.

Albizzia moluccana. Miq. — (Falcata Baker.) (Java, Ceylan.) Arbre atteignant 30 m. Il pousse dans beaucoup de sols, même dans l'Imperata. Il est très favorable comme arbre d'ombrage. Il offre des possibilités intéressantes dans les vieilles cultures. Ses racines retiennent bien le sol et portent de nombreuses nodosités. Il est utilisé en Malaisie dans certaines plantations de Gutta-percha.

Albizzia Lebbek. G. Benth. — (Indo.) Arbre atteignant 12 à 21 m. Se rencontre parfois en Malaisie en terrains plats secs.

Gliricidia maculata. — (Ceylan.) Arbre très utilisé à Ceylan pour ombrage et engrais verts. Il semble que sa poussée soit moins vigoureuse en Malaisie. Il offre néanmoins des possibilités intéressantes d'adaptation.

B. — LEGUMINEUSES VIVANT A L'ETAT INDIGENE SOUS COUVERTURE ETAGEE ET OFFRANT DES POSSIBILITES POUR VIEILLES CULTURES

a) *Plantes traçantes*.

Centrosema pubescens. Prain. — Ne vit pas à l'état indigène. (Voir chap. IV.)

Milletiia sericea. G. Benth. — Plante traçante, grimpante, ligneuse; fréquente dans les sous-bois malais.

Pueraria phaséoloïdes. G. Benth. — Vit parfois à l'état indigène. (Voir chap. IV.)

b) *Buissons*.

Dalbergia sp. Prain. — Nombreux buissons grimpants, plus ou moins fréquents dans la forêt locale.

Bauhinia sp. Linn. — (Indo.) Buissons ou plantes traçantes, fréquentes en forêt.

Desmodium sp. D. C. — (Indo.) Petits buissons que l'on trouve dans les bois (*D. Triquetrum*, etc...)

c) *Arbres*.

Albizzia moluccana. Miq. — (Java, Ceylan.) Arbre atteignant 30 m. Il pousse dans beaucoup de sols, même dans l'Imperata. Il est très favorable comme arbre d'ombrage (*Gutta-percha*, etc...). Il offre des possibilités intéressantes dans les vieilles cultures. Ses racines retiennent bien le sol; il a de nombreuses nodosités.

Millettia unifoliata. Prain. — Arbre glabre, atteignant 6 à 18 m., indigène dans la forêt. Il existe plusieurs autres espèces du genre *Millettia* qui ont le même habitat.

Dialium platysepalum. Baker. — Arbre atteignant 24 à 27 m. Fréquent en forêt.

Cynometra inæqualifolia. Baker. — Arbre atteignant 24 m. Fréquent en forêt.

Adenanthera pavonina. Linn. — Arbre atteignant 6 à 9 m., utilisé comme arbre d'ombrage dans certaines plantations de *Gutta-percha*.

Peltophorum ferrugineum et *Peltophorum dasyrachis*. Baker. — Arbres atteignant 18 à 24 m. Ils sont fréquents en Malaisie, dans les sols côtiers, en forêt peu dense.

QUATRIÈME PARTIE

L'ACIDIFICATION DU SOL
PAR LES PLANTES ADVENTICES

I. — INTRODUCTION

Au cours de la deuxième partie de cette étude, nous avons fait remarquer que les observations phytophysiologiques étaient insuffisantes pour déterminer, rapidement du moins, l'effet chimique d'une plante adventice sur le sol qui la porte. On peut également ajouter qu'à moins de grandes précautions expérimentales, les observations sont toujours imprécises dans cet ordre d'idées.

Nous avons donc trouvé nécessaire d'entreprendre, parallèlement à nos études sociologiques, des études chimiques ayant un double but :

a) *Etudier le mécanisme des échanges entre les différentes plantes adventices et le sol de nos plantations.*

b) *Trouver, si possible, quelques réactions simples qui permettent de déterminer, rapidement et économiquement, la valeur chimique d'une plante adventice.*

Il est bien entendu que les déterminations chimiques ne sauraient, en aucun cas, dispenser des observations physiologiques qui restent, en dernière analyse, le seul critérium certain. Nous avons, d'ailleurs, entrepris avec nos recherches de laboratoire des expériences dans les champs, qui doivent éventuellement confirmer ou infirmer les indications analytiques chimiques.

Cette quatrième partie est consacrée en entier à l'étude de l'acidification des sols par les plantes vivantes, tandis que la cinquième partie traite plus particulièrement des caractères favorables à la décomposition.

Nous avons trouvé utile de faire débiter ces exposés

par des considérations générales sur le pH des plantes, et plus particulièrement sur le pH de la sève brute qui est, assez généralement, l'élément liquide volumétrique dominant. Comme nous le verrons, le pH des végétaux a souvent une action limitative sur leur décomposition favorable à la surface du sol. Ce pH semble également avoir une relation avec le pH de la solution acidulée exsudée par les racines.

Enfin, nous avons cru trouver dans les déterminations de pH des sèves brutes un des critères chimiques simples que nous cherchions pour la sélection des plantes adventices.

L'importance de l'acidification des sols par les végétaux est considérable, et il est logique que le planteur tienne compte de ce facteur dans la sélection des plantes adventices qu'il tolère sur ses sols. M. Braun-Blanquet a écrit à ce sujet :

« Des changements à peine perceptibles de l'acidité des
« solutions de sol, peuvent favoriser les compétiteurs dispersés,
« et apparemment plus faibles dans leur lutte avec les plantes
« dominantes. »

II. — LE PH DE LA SEVE DES PLANTES

Nous croyons utile à nos développements ultérieurs de rappeler ici les principaux points généralement acceptés. Nous ne résumerons pas les ouvrages que nous avons consultés, ces questions étant maintenant assez bien connues. Nous avons principalement utilisé le travail de M. Small : « *Hydrogen-Ion concentration in plant cells and tissues.* »

On sait que le suc de chaque plante a un pH ou une zone de pH assez étroite qui lui est propre. La réaction ionique de la plupart des plantes (sauf les succulents) est relativement stable en dehors d'une acidification naturelle provoquée par la lignification et la floraison.

On sait que généralement la sève brute est, volumétriquement, beaucoup plus importante que la sève élaborée. On peut donc admettre que le jus pressé de la plante, décortiquée ou non, donnera une approximation suffisante de la sève brut, pour les déterminations de pH. D'après les études de M. Small, il apparaît que les tissus corticaux et ceux reliés aux tubes criblés donnent des réactions plus alcalines que le cylindre central. Puisque la sève élaborée semble moins acide que la sève brute, le pH du jus exprimé de la racine entière (ou tige) ne sera qu'une approximation atténuée de l'acidité de la sève brute.

De nombreux auteurs ont déjà signalé qu'il y avait souvent une similitude de réaction entre les espèces d'une même famille. Négligeant la réaction normalement acide des tissus libériens et lignifiés, M. Small distingue des familles acides et alcalines par la réaction des tissus médullaires :

Familles alcalines : ($pH > 5,5$) Caryophyllaceæ, Leguminosæ, Scrophulariaceæ...

Familles acides : ($pH < 5,3$) Polygonaceæ, Saxifragaceæ, Rosaceæ...

Les mesures de pH qui donnent des résultats supérieurs à 5,5 sont beaucoup plus délicates que les autres. L'acide carbonique a alors une importance croissante dans la liste des éléments-tampons qui fixent le pH des sucs. Son caractère volatil est une source d'erreurs. Par contre, les réactions inférieures à 5 indiquent que la solution est tamponnée par un acide fort, et les bicarbonates n'influent alors sur les mesures que dans une proportion négligeable (Clark, 445). M. Small admet d'ailleurs que les pH supérieurs à 4,8 sont exposés à la critique.

On sait que le pH des jus de plantes est réglé par des substances-tampons qui sont principalement :

Au-dessus de $pH = 5$: Phosphates et bicarbonates.

Entre 5 et 5,5 : Citrates, et très rarement succinates.

Entre 4,5 et 5 : Citrates, malates, et très rarement succinates.

Entre 3,5 et 4,5 : Oxalates, citrates, tartrates, malates, et très rarement succinates.

Les protéines et amino-acides (Small, 74) sont négligeables comme substances tampons vis-à-vis des acides organiques. Se basant d'une part sur des courbes de neutralisation : $(Base) = f(pH)$, des principaux acides organiques, et d'autre part sur la courbe de neutralisation d'une sève considérée, M. Small est parvenu à estimer quantitativement et qualitativement les acides dominants.

De nombreux auteurs ont montré que, dans une certaine mesure, le pH de la sève brute d'une plante est en relation directe avec le pH du sol. Cette corrélation semble plus nette pour les racines que pour la tige. Il est donc possible que le pH de la sève brute dans les racines donne une indication sur le pH de la solution de sol, au voisinage immédiat des racines.

Ces considérations nous ont conduit à étudier le pH des plantes adventices et à chercher dans quelle mesure leur connaissance pouvait donner une idée de la valeur acidifiante d'une plante sur le sol qui la porte.

Nous ferons mention, dans les pages qui vont suivre, d'une

méthode colorimétrique de détermination du pH, appelée R. I. M. : *Range Indicator Method*. Cette méthode, fort intéressante, développée par M. Small, consiste à utiliser une série d'indicateurs sélectionnés, uniquement à leur point de virage. Nous en exposerons les détails ultérieurement (page 148).

III. — DE L'ACIDIFICATION DE NOS SOLS PAR LES PLANTES ADVENTICES

A. — ACTION CHIMIQUE DES RACINES

On sait que :

En dehors de son rôle de fixation, la racine est un organe d'absorption, et éventuellement un organe de réserve. A une faible distance du sommet des radicelles, existe une région garnie de poils absorbants qui est le siège d'une pénétration osmotique des sels dissous dans l'eau. Ces poils absorbants dégagent toujours de l'anhydride carbonique qui, à lui seul, est capable de solubiliser certains sels ordinairement insolubles, par exemple carbonate et phosphate de calcium. D'autre part, toutes les cellules superficielles de l'extrémité des racines secrètent une substance acide de nature indéterminée (*). Cet acide organique, plus ou moins puissant, permettra la mise en solution des sels insolubles nécessaires à la plante. Par osmose successive, les solutions minérales passent des cellules pillifères aux cellules de l'écorce et, de proche en proche, finissent par atteindre les vaisseaux ligneux du centre de la racine. L'absorption osmotique est douée d'un pouvoir sélectif, qualitatif et quantitatif. Elle est réglée par la pression osmotique, qui diminue pour un certain sel, à mesure que sa concentration augmente.

L'extraction de matières nutritives des solutions de sol par les racines exige un échange électro-équivalent d'ions ou de molécules entre les racines et la solution de sol. M. Braun-Blanquet cite les recherches de M. Pantanelli (1915), M. Le-

(*) *Nota.* — WAKSMANN (page 766) résumant les travaux d'une douzaine d'Auteurs écrit à ce sujet : « Sous conditions stériles, les plantes secrètent des acides formiques, oxaliques et maliques, ainsi que des sucres réducteurs et non-réducteurs. Les racines secrètent aussi des phosphatines. »

degardh, etc., qui montrent que les différentes espèces ont, parfois, une préférence marquée pour les anions (graminées) et d'autres pour les cations. (Voir aussi : *La Question de la Réaction des Sols*, par M. Raymond Chaminade, Revue de botanique appliquée, 1932.) Cette capacité sélective explique le fait bien connu que la plante est capable de changer le pH de sa solution nutritive.

Quand un sol est acide en suspension, cela veut dire que la proportion d'ions (H^+) dans l'essaïm de cations échangeables du complexe absorbant est importante. Plus le sol est acide en suspension, moins il est saturé en cations métalliques.

L'acidité en solution, d'autre part, représente la fraction soluble de l'acidité totale. Pour que la solution présente une acidité marquée, il faut que la solution de sol contienne une quantité suffisante d'anions pour entraîner les (H^+) en dehors du champ d'action des particules du sol. (Belgrave, M.A.J., 1929, p. 195.)

Dans un sol dénué d'éléments grossiers, la plante devra s'attaquer au complexe du sol, afin de mettre en solution les bases échangeables. Cette mise en solution peut avoir lieu grâce à un sel neutre ou un acide en solution diluée. Pour qu'il y ait sel neutre, il faut une émission acidique. Donc, plus le sol sera pauvre en anions et cations solubles, plus la plante devra émettre une solution acidique, à concentration de (H^+) élevée, afin de pouvoir effectuer l'échange. Il y a donc lieu de supposer qu'en sols pauvres, la plante émet des solvants à acidité plus intense que le pH en suspension du sol. La capacité de la plante d'absorber une solution de sol à pH plus ou moins important règlera la proportion d'anions à cations métalliques de cette solution.

La plante peut également effectuer dans le sol un remplacement d'anions afin d'absorber les radicaux acides (particulièrement acides minéraux) qui lui sont utiles.

Dans les sols à pH (en suspension) voisin de la neutralité, le retrait d'anions par la plante pourra déterminer une véritable alcalinisation du sol, car il s'agira alors surtout d'un retrait d'anions en solution.

Dans nos sols acides et pauvres, le retrait d'anions se fera principalement au détriment du complexe absorbant, et le remplacement électro-équivalent n'aboutira pas forcément à une alcalinisation. Il y a, au contraire, tout lieu de croire que l'anion « déplaceur » sera plus « fort » que l'anion « déplacé », et que le pH en suspension de sol accusera une acidification.

Dans nos terres, l'effet de la plante sera donc marqué sur le sol attenant aux racines de deux façons :

1° *Un abaissement plus ou moins marqué du pH en suspension.* — Cet abaissement dépendra du pH original et sera peu marqué dans les fortes concentrations de (H^+) , dont le pH est l'expression cologarithmique. Cet abaissement dépendra, pour une espèce donnée, du degré de saturation du sol. Aux sols les plus pauvres correspondent les exsudations les plus acides. Les plantes qui se développent bien en mauvais sols, seront donc en général les plantes les plus acidifiantes.

Cet abaissement dépendra de la teneur humique, qui est un élément tampon important en sols pauvres.

2° *Une acidification du pH en solution.* — Comme on conçoit mal le mécanisme d'exsudation d'acides organiques par la plante, on ne sait pas si cette acidification est intermittente ou continue. Il sera impossible, dans la limite des connaissances actuelles, d'établir une parallèle entre le pH en solution à proximité des racines à un instant donné, et le pH des exsudations de racines, au moment inconnu où celles-ci se produisent.

B. — INTERACTION ENTRE LE pH DU SOL ET LE pH DES SUCS EXSUDES

Il ne faut pas confondre ce caractère alcalinisant ou acidifiant, plus ou moins prononcé, suivant les espèces et la réaction du sol avec :

a) La prédilection de certaines espèces pour les habitats à pH déterminé. Cette prédilection semble d'ailleurs s'accommoder d'une marge assez large, pour la majorité des espèces. M. Chaminade (réf. citée) remet d'ailleurs en question cette prédilection.

b) La variation ultérieure du pH du sol, par la décomposition-combustion de la plante qui présente toujours, dans le champ de nos investigations, une réaction acide, due au pH propre des tissus et à l'activité biologique productrice d'acides. Cette décomposition n'est d'ailleurs pas forcément acidifiante, car elle est souvent d'un pH supérieur à celui des sols acides.

(Le pH de la décomposition d'un déchet organique, situé à la surface du sol, dépend plus de la nature du déchet que du pH du sol.)

C. — UNE EXPERIENCE DE COLONISATION

Nous avons déjà donné quelques précisions sur cette expérience au cours de la deuxième partie (page 52). Nous donnons ci-dessous les conclusions préliminaires, au point de vue acidification, du sol par les plantes adventices.

Nom de la Plante	Parcelle N°	Valeur du pH	Parcelle N°	Valeur du pH	Parcelle N°	Valeur du pH	Moyenne	pH Sève de tige	
								électr	R I M M
Témoin (nu)	1	5.086	31	4.981	60	4.951	5.009		
Imperata cylindrica	2	4.866	50	4.655	100	4.783	4.771	4.5	4.9
Lycopodium cernuum	3	4.999	49	4.815		4.223	4.699	4.04	-
Aspalathus conjugatum	4	4.565	51	4.748	99	5.000	4.882	5.2	5.2
Aspalathus Commersonii	5	4.609	39	5.048	61	4.698	4.770	5.9	5.9
Digitaria longiflora	6	4.666	53	4.665	81	4.867	4.744	4.5	4.5
Gleichenia linearis	7	4.599	38	4.662	85	4.717	4.688	4.2	4.2
Blechnum orientale	8	4.348	59	4.981	82	4.516	4.699		4.3
Cheilanthes farinosa	9	4.365	33	5.281	90	4.650	4.760		
Cheilanthes tenuifolia	10	4.440	58	4.565	42	4.416	4.449		4.2
Phytolopsis biserrata	11	4.766	57	5.081	83	4.733	4.754	5.7	5.6
Platostoma polyanthum	12	4.666	43	5.164	82	4.865	4.932	4.06	3.9
Albostylis caracata	13	4.565	56	4.815	91	4.733	4.738		
Agrostis viscosa	14	4.649	44	5.048	63	4.798	4.804		
Iskandia scandens	15	4.716	55	4.615	84	4.800	4.688	5.5	5.4
Lesiflora foetida	16	4.699	45	5.314	92	4.767	4.832	5.3	5.0
Cladonia sp.	17	4.983	32	4.582	86	4.533	4.605	5.5	5.5
Hydrocotyle asiatica	18	4.799	46	4.782	64	4.549	4.771		
Centrosema pubescens	19	4.766	34	4.432	97	4.733	4.655	5.3	5.0
Gerardia javanica	20	4.348	35	4.515	65	4.582	4.621	5.4	5.2
Iskandia oligosperma	21	4.565	47	4.931	98	4.934	4.738		
Iskandia invisa	22	4.582	36	4.356	87	4.683	4.538	5.8	5.6
Protalaria anagyroides	23	4.532	66	4.931	79	5.081	4.865	5.8	
Iskandia glauca	24	4.465	80	4.499	74	4.748	4.593	6.7	6.4
Phytolopsis candida	25	4.298	68	5.447	84	4.867	4.926		4.2
Digitaria cajanifolia	26	4.682	72	4.449	77	4.981	4.576		
Artutula oleracea	27	4.632	37	4.848	88	4.500	4.677		5.6
Leptochloa valerianifolia	28	4.599	69	5.331	78	4.865	4.943		
Iskandia (sauvageons)	29	4.599	69	4.798	76	4.882	4.760	5.8	5.5

1) Cette expérience est encore trop jeune pour être considérée comme valable. Les analyses ont été faites exactement un an après le début de la colonisation. L'erreur probable est, pour presque toutes les parcelles, supérieure aux déviations relevées.

2) Nos conclusions ne sont donc qu'hypothétiques et ne pourront être définitives que d'ici un an ou deux.

Il semble néanmoins que :

a) Toutes les plantes essayées acidifient le sol;

b) Parmi les douze plantes ayant l'effet apparent le plus défavorable, on relève :

3 plantes trouvées très acidifiantes par ailleurs : *Lycopodium*, *Gleichenia*, *Blechnum*;

4 plantes à sève de pH < 4,6 : les 3 précédentes et le *Cheilanthes tenuifolia*;

12 plantes à racines fasciculées, dont 4 légumineuses :
Mimosa, Leucaena, Centrosema et Pueraria.

D. — L'ESTIMATION DE L'ACIDIFICATION DU SOL PAR LA METHODE DE M. CHAMINADE

« Les plantes étaient prélevées en même temps que la motte de terre entourant leurs racines. Cette motte était broyée pour séparer les racines et le pH du sol était mesuré.

« Les racines conservaient autour d'elles, après ce premier traitement, une gaine de terre qui était détachée à l'aide d'un jet de pipette : le pH de cette terre adhérente aux racines était alors déterminé. » (Réf. cit.)

Cette méthode nous a donné des déboires dus à la variabilité du rapport eau/terre qui en résulte.

Une étude sur la variation du pH en fonction de la concentration de la suspension a donné :

Suspension	pH (quinhydrone)	Augmentation
1 dans 1	4.782	nll
1 2.5	4.782	nll
1 5	4.816	+ 0.034
1 10	4.949	+ 0.167
I 15	5.033	+ 0.251
I 25	5.183	+ 0.401
I 75	5.617	+ 0.701
I 100	5.937	+ 1.155

Nous avons alors modifié la méthode de la façon suivante :

La terre adhérent aux racines était séparée comme suit : on sèche au soleil ces racines enduites, jusqu'à ce que la terre puisse s'en séparer par un doux frottement avec le doigt. On prélève 5 grammes de cette terre, qui sont mis en suspension dans les 12,5 centimètres cubes d'eau distillée rebouillie.

Nous avons utilisé cette méthode sur suspension et solution de sol. Dans le premier cas, nous l'appelons méthode « écart-suspension » ; dans le deuxième cas, méthode « écart-solution ».

NOTA. — *Erreur-Standard.* — Nous utiliserons la valeur de l'« erreur standard » de STUDENT, Journal of Agricultural Science, vol. IV, page 128, qui est approximativement estimée à :

« Erreur standard sur la moyenne des déviations » = E. S.

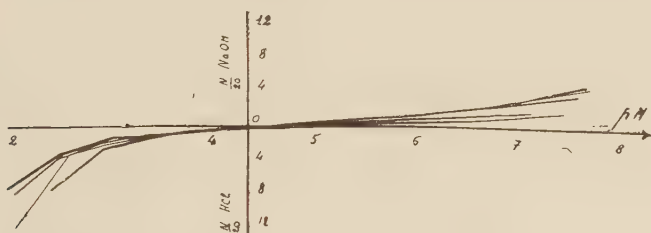
$$E. S. = \sqrt{\frac{\bar{Z} (D^2)}{n (n-1)} - \left(\frac{\bar{Z} (D)}{n}\right)^2 \cdot \frac{1}{n-1}}$$

E. — L'EFFET-TAMPON DANS NOS SOLS

Le phénomène qui sert de frein aux variations du pH du sol est maintenant bien connu et est appelé « effet-tampon ».

Les substances-tampons sont les acides faibles, les sels des acides faibles avec les fortes bases, les électrolytes amphotériques, les composés d'argile et d'humus aptes à l'échange des bases et des oxydes colloïdaux de fer et d'alumine.

Il semble raisonnable que dans les sols tropicaux érodés et de faibles teneurs en bases, ce pouvoir-tampon soit très faible.



Courbe de neutralisation de sols érodés de vieilles cultures.

Nous avons particulièrement étudié un sol de vieilles cultures érodées. Les effets-tampons sont reproduits sur les courbes

D : étant la déviation trouvée dans chaque détermination. Cette formule se retrouve d'ailleurs facilement en se rappelant que :

1° La formule de la déviation standard d'une distribution normale est

$$D. S. = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (D^2)}$$

2° Que nous considérons comme déviation analytique l'écart entre la déviation moyenne et la déviation pour une détermination.

3° Que l'erreur standard sur une moyenne, se calcule de la déviation-standard (erreur standard sur une détermination quelconque) par

$$E. S. = \frac{D. S.}{\sqrt{n}}$$

On pourrait observer que l'exactitude demandait que la déviation standard soit calculée sur les (H^+) et non sur le pH .

Remarquons que notre méthode revient sensiblement à considérer le quotient des (H^+) entre le sol adhérent et le sol extérieur, ce qui n'est pas illogique.

Nous considérons comme « significatifs », toute déviation excédant deux fois la déviation standard.

jointes. Nous représentons les différentes valeurs de « coefficient-tampon » T, dans le tableau suivant.

Le « coefficient-tampon » T représente le nombre de grammes équivalents de l'acide ou base considéré, qui détermine une variation de $pH=1$ par tonne de sol (nous estimons la densité de notre sol à 1,25).

Sols	pH	Acide	$\Delta pH = 1$		T	Poids du gr.équiv. d'acide	Grammes d'acide par Ha. (0,30M)	Grammes d'acide par m ² . (0,30M)
			Nb. cc.s.	Solu-tion				
A	4 à 4,9	HCl	0,75	N/20	5,7	38,47	506	0,05
B	3,8 à 4,4	(CO ₂ H. ₂ O)	4,25	N/20	21,2	63,03	5010	0,50
		C ₆ H ₈ O ₇ .H ₂ O	3,36	N/20	16,8	70,03	4410	0,44

F. — DIFFICULTE D'APPLICATION DE LA METHODE DE M. CHAMINADE DANS NOS SOLS

Il faut se rendre compte, avant d'entreprendre des déterminations d'acidification pour les plantes, si la quantité de (H⁺) libérée peut être assez importante pour excéder la zone originale de tamponnement infini.

Les expérimentateurs qui ont décelé des acidifications notables ont opéré sur des sols voisins de la neutralité, en comparaison avec nos sols.

Les travaux de M. Chaminade (réf. citée) roulent sur des sols dont le pH varie de 6,30 à 8,26. Des six céréales qu'il a étudiées, une seule, l'orge, alcalinise les particules de terre touchant les racines, dans la proportion de $\Delta pH=0,24$ à 0,84. Les cinq autres céréales acidifient la terre adhérente, dans la proportion de $\Delta pH=0,15$ à 0,67.

Si, pour fixer les idées, on suppose une variation maxima de pH de 7 à 6, cela correspond à une libération d'ions H de :

$$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7} = 9 \times 10^{-7}$$

Nous appelons « Index d'erreur » le nombre de grammes équivalents de l'acide ou base considérée, qui ne détermine pas avec l'électrode de quinhydrone, une variation supérieure à 2 millivolts, c'est-à-dire $\Delta pH = 0,035$. (En effet, la pratique nous a appris qu'on ne pouvait pas escompter une précision

constante supérieure à 2 millivolts, du moins avec l'appareil que nous avons utilisé.)

Dans le cadre de nos expériences, cet index représente aussi le nombre de grammes-équivalent d'acide, pour lequel *l'effet-tampon est infini*.

Cet index d'erreur est naturellement fonction de la saturation du sol en substances-tampons. Il varie énormément d'un point à un autre, suivant la quantité et la qualité des déchets organiques présents, et aussi, semble-t-il, avec la végétation. Les moyennes de 100 déterminations ont donné :

INDEX D'ERREURS EN GRAMMES ÉQUIVALENTS

D'ACIDE CITRIQUE PAR TONNE DE SOL

Sol de Lycopodium cernuum Sol nu avoisinant

Minimum ...	traces	traces
Maximum ...	1.65	0.45
Moyenne ...	0.30	0.12

Il résulte que nous avons dit que :

a) Pour des variations de pH importantes, nos sols sont peu tamponnés;

b) Pour des variations de pH infinitésimales, le tamponnement peut devenir ou sembler infini.

Cet écart de sensibilité correspond à une quantité de (H^+) libéré, variable suivant le pH.

pH original	Acidification corresp. à sensibilité nulle	(H^+) libéré corresp. à ΔpH
5.80	0.03	12.0×10^{-6}
4.00	0.03	5.0×10^{-6}
4.20	0.03	4.0×10^{-6}
4.40	0.03	2.9×10^{-6}
4.60	0.03	1.8×10^{-6}
4.80	0.03	1.2×10^{-6}
5.00	0.03	1.5×10^{-6}

Ce qui revient à dire qu'une plante qui peut acidifier un sol neutre jusqu'à $pH = 6$, ne pourrait, dans les cas les plus actifs, déterminer une variation du pH mesurable que dans les sols à $pH > 5$.

On en déduit que, dans la majorité des cas, l'acidification de nos sols ne sera pas décelable par les moyens normaux.

G. — APPLICATION DE LA METHODE DE M. CHAMINADE

En vérification de la conclusion qui précède, nous n'avons pu déceler d'acidification nette que sur des sols relativement peu

Plantes	pH suspension du sol extérieur	pH suspension du sol adhérent	Erreur standard	(H ⁺) libérés	ccs. HCl N 200 correspondt par gr. sol	Millig. HCl correspondt par gr. de sol.
<i>Lycopodium cernuum</i>	4,801	-0,201	$\pm 0,0256$	$9,5 \times 10^{-6}$	0,14	0,025
<i>Melastoma polyanthum</i>	4,850	-0,125	$\pm 0,0279$	$4,1 \times 10^{-6}$	0,09	0,006
<i>Blechnum orientale</i>	4,778	-0,155	$\pm 0,0506$	$7,1 \times 10^{-6}$	0,11	0,020
<i>Gleichenia linearis</i>	4,409	-0,1005	$\pm 0,0294$	$10,0 \times 10^{-6}$	0,07	0,013
<i>Tephrosia candida</i>	5,379	-0,106	$\pm 0,0532$	$0,8 \times 10^{-6}$	0,07	0,013
<i>Paspalum Commersonii</i>	4,977	+0,075	$\pm 0,0385$	$2,1 \times 10^{-6}$	0,05	0,009

acides, par une méthode semblable à celle de M. Chaminade (moyenne de 10 déterminations).

Nous avons ajouté au tableau le nombre de centimètres cubes N/200 HCl, qui d'après les courbes de tamponnement, produirait le même effet par gramme de sol.

En d'autres termes, les (H⁺) libérés, correspondent à l'acidification d'une terre neutre aussi pauvre dans la proportion :

PLANTES	pH ORIG.	pH FINAL
<i>Lycopodium cernuum</i>	7	5.003
<i>Melastoma polyanthum</i>	7	5.32
<i>Blechnum orientale</i>	7	5.14
<i>Gleichenia linearis</i>	7	5.00
<i>Tephrosia candida</i>	7	6.02
<i>Paspalum Commersonii</i>	7	alcalinisation

En résumé :

Ces déterminations demandent un soin extrême et présentent une difficulté croissante avec l'acidité du milieu et son faible effet-tampon. En d'autres termes, il y aura cinq sources d'erreurs importantes :

a) L'imprécision des méthodes de détermination des différences de pH de l'ordre de 0,1 et inférieures.

b) Ceci élimine *ipso facto* les méthodes colorimétriques ordinaires.

NOTA. — a) Les deux dernières moyennes offrent une précision très inférieure aux 4 premières et leur exactitude peut être mise en question.

b) 9 autres plantes étudiées de la même façon, ont donné des résultats non significatifs.

c) L'instabilité relative des pH du sol, qui varie d'un point à un autre, très rapprochés parfois, d'un $pH < 0,5$.

d) L'instabilité relative des pH du sol qui varient durant le jour, dans une proportion que nous n'avons pas encore contrôlée.

e) L'instabilité relative des pH des suspensions qui s'acidifient ou s'alcalinisent rapidement, dans certains cas encore mal étudiés. Nous croyons que le cas se présente surtout pour les solutions riches en produits organiques en voie de décomposition.

Il faut donc conclure que, dans le cas général de nos sols, cette méthode de détermination de l'acidité ne sera pas pratique et qu'il est nécessaire de trouver autre chose.

Nous donnons ci-dessous quelques chiffres obtenus par la méthode : « *Ecart Solution* », et avons obtenu les résultats suivants (moyennes de 10 déterminations) :

ESTIMATION DE L'ACIDIFICATION DES SOLS PAR LES PLANTES PAR LA METHODE "ECART- SOLUTION".				
Plantes	pH de la sève des racines	pH du sol extérieur	ΔpH du sol adhérent	Erreur standard
<i>Lycopodium c.</i>	4,257	7,051	-0,4413	$\pm 0,0941$
<i>Melastoma p.</i>	4,796	6,841	-0,3256	$\pm 0,0336$
<i>Imperata c.</i>	6,024	7,177	-0,2106	$\pm 0,1390$
<i>Hevea b.</i> (sauvageons)	6,213	7,001	-0,0744	$\pm 0,0274$
<i>Paspalum c.</i>	6,668	6,785	-0,0880	$\pm 0,0258$
<i>Paspalum C.</i>	6,767	6,861	-0,0456	$\pm 0,1020$
<i>Mimosa pud.</i>	5,927	6,808	-0,0367	$\pm 0,0430$
<i>Mimosa inv.</i>	5,581	6,587	-0,0480	$\pm 0,0370$
<i>Gleichenia l.</i>	5,387	6,468	-0,0944	$\pm 0,0245$
<i>Elechnum ori.</i>	5,555	6,476	-0,0508	$\pm 0,0257$
<i>Crotalaria a.</i>	5,582	6,555	-0,2764	$\pm 0,0777$
<i>Tephrosia c.</i>	5,836	6,358	-0,2192	$\pm 0,0442$
<i>Leucaena gl.</i>	5,585	6,954	-0,0530	$\pm 0,0234$
<i>Passiflora f.</i>	5,666	6,572	-0,1092	$\pm 0,2990$
<i>Pueraria jav.</i>	5,431	6,100	-0,0750	$\pm 0,0216$

Remarque. — La détermination des pH en solution a été faite sur filtrat obtenu sans utilisation de trompe à vide. La filtration au cours de la nuit entache les mesures du pH de la sève d'une certaine erreur (fermentations généralement alcalinisantes).

H. — PRINCIPE DES METHODES PROPOSEES

Nous avons d'abord tenté de pallier à l'imprécision des mesures, en n'étudiant en laboratoire que des plantes poussant sur des sols à pH moins acide que la normale.

Par exemple, le *Mimosa invisa* acidifie un sol neutre dans la proportion suivante :

pH moyen, sol extérieur. (suspens.)	pH moyen, sol adhérent aux racines (suspens.)	Δ pH moyen	Erreurs Standard
7.140	7.063	-0.0965	$\pm$ 0.0252

Nous avons vite abandonné cette méthode, qui était tendancieuse et pourrait faire déconsidérer des plantes inaptes à acidifier sensiblement des sols déjà très acides.

Nous avons ensuite tenté l'essai de cultures en solutions nutritives réglées à un pH normal, par ex. : 4,2. La variation du pH de la solution était notée. La méthode fut trouvée peu pratique et peu sûre, en raison de l'alcalinisation spontanée des solutions-types.

En définitive, nous nous sommes arrêtés à l'hypothèse suivante :

« Déterminer le pH moyen en suspension des parties les moins lignifiées de la racine.

« Comparer ces valeurs au pH du sol contigu aux racines.

« En déduire arbitrairement qu'une plante est acidifiante si son acidité est nettement plus marquée que celle du sol. Dire qu'elle est alcalinisante si son pH est nettement plus proche de la neutralité. »

Notre hypothèse est en moyenne assez logique à un double point de vue :

a) *Pendant la croissance de la plante.* — Nous connaissons l'intensité des échanges osmotiques entre le sol et les différentes parties de la plante. Il y a tout lieu de supposer qu'il y a une relation étroite entre le pH des sections et le pH de la solution de sol, sucée par la région pilifère.

Nous savons que le pH en solution de nos sols est sensiblement neutre, en tous sols normaux. L'acidité de la solution de sol à l'intérieur des racines sera dépendante, dans une large mesure, de l'acidité des exsudations. Les exsudations seront d'ailleurs généralement plus acides que les solutions de sol absorbées.

En nous limitant à ce point de vue, il eût donc été plus exact de mesurer le pH en solution de la sève, au lieu du pH en suspension. Il ressort de nos expériences que cette dernière estimation donne, en effet, des résultats plus constants et dignes de foi. Néanmoins, comme nous le verrons, la complication

supplémentaire entraînée (filtrage sous vacuum très rapide, ou centrifugation) n'est pas justifiée en première analyse et dépasse le but cherché.

b) *Pendant la décomposition de la plante.* — La décomposition en surface du sol, comme nous le montrerons au cours de la cinquième partie, semble dépendre assez largement du pH original des tissus. Le pH en suspension semble alors la mesure la plus judicieuse. Nos expériences semblent confirmer ceci, quoiqu'il reste encore de nombreux points obscurs.

I. — VALEUR DES METHODES PROPOSEES

Deux ans d'expériences ininterrompues semblent confirmer l'exactitude de notre hypothèse. Les plantes à sucres très acides se comportent, en général, beaucoup moins favorablement que les plantes à sucres plus ou moins neutres.

Cette méthode nous permet d'étudier les plantes dans leur habitat propre.

En effet, on sait que les cellules végétales peuvent rarement tolérer une acidité plus forte que 3,8, et nous n'avons pas trouvé de sections présentant cette réaction-limite.

Nous avons exposé, dans le paragraphe précédent, que nous n'avons pu déceler d'une façon très nette que l'acidification causée par quatre plantes. La méthode proposée, dont l'application est donnée dans le tableau suivant, semble donner une approximation suffisante pour un travail de sélection.

Plantes	Ecart-Suspension.		Méthode proposée.						
	pH Sol extérieur	pH Sol adhérent	pH Sol (élect.)	pH Racines élect. Color.		pH Tiges élect. Color.		pH Feuilles élect. Color.	
Lycopodium c.	4,80	4,60	4,4	4,2	4,2	4,2	4,1	4,2	4,1
Melastoma po.	4,85	4,72	4,4	4,3	4,2	4,1	4,0	4,2	4,0
Blechnum ori.	4,78	4,62	4,5	4,7	4,5	4,5	4,4	5,2	5,1
Gleichenia l.	4,41	4,31	4,6	4,6	4,5	5,1	5,0	5,1	5,0

Nota: Toutes les mesures électrométriques ont été faites sur suspensions.

J. — CONCLUSIONS TECHNIQUES

L'expérience nous a conduit à plusieurs conclusions :

a) Il ne faut utiliser, pour la détermination des pH, que des plantes poussant sur des sols normaux à pH compris entre 4 et 4,8. Les sols moins acides conduisent aux conclusions tendancieuses.

b) Il faut répéter les déterminations sur au moins dix échantillons prélevés en sols différents, mais de pH semblables.

Il est à remarquer que les pH des plantes varient plus ou moins avec le pH du sol.

Ce n'est d'ailleurs pas la seule cause de variation. Dans des sols de même pH , des plantes de mêmes espèces donnent parfois des indications différentes.

Il se peut que l'acidité dépende de la pauvreté du sol en minéraux et qu'il y ait une sorte d'adaptation.

VARIATION DU PH DES RACINES

	Blechnum	Gleichenia	Teparosia	Lantoro	Paspal. conj.
Valeur moyenne du pH en sols: de pH 4.2 à 4.8	4.60	4.60	4.50	5.00	5.40
Valeurs maxima relevées	5.42	4.94	5.00	6.75	5.80
Valeur minima relevée	4.20	4.18	4.20	4.40	5.20

D'autres plantes montrent une constance plus nette de pH (tiges). Ce sont les indications les plus dignes de foi.

Lycopodium cernuum	4.481	4.474	4.291	4.208	4.041
Melastoma polyanthum	4.162	4.652	4.088	4.016	4.09

e) Il ne faut retenir comme caractère défavorable que les différences de pH entre sol et racines $\Delta pH < + 0,4$ dans la marge indiquée ci-dessus.

d) La valeur acidifiante d'une plante peut être considérée comme certaines quand $\Delta pH = pH \text{ sol} - pH \text{ racines} > 0$ sous réserves (a) et (b).

e) Il faut éviter de préférence les tissus lignifiés, car ceux-ci sont plus acides et cela induit en erreur, lorsque l'on détermine le pH en suspension.

f) Les racines donnent des indications plus constantes et plus valables que la tige ou les feuilles. Nous l'attribuons au fait que les racines sont généralement moins lignifiées que la tige, et les feuilles sont le siège de trop de phénomènes chimiques indépendants.

i) On peut se dispenser d'exprimer le jus des plantes, en ajoutant par 10 grammes de matière coupée en morceaux menus 50 centigrammes d'alcool pur neutre. Nous appelons cette méthode « pH sur matériel brut ». Elle n'est pas toujours aussi précise que les autres (erreur d'alcool), et nous ne l'avons pas retenue en pratique.

j) Certains indicateurs choisis avec soin, utilisés sur des sections fines de végétal, donnent par recouplement une approximation très suffisante en première analyse. Nous appelons cette méthode : « R. I. M. M. », c'est-à-dire « Range Indicator Method Modified », afin de rappeler le nom « RIM » donné au principe de la méthode par son inventeur, M. James Small.

ECHANTILLONS	pH colorimétrique R. I. M. M.	pH électrométrique après 24		
		Brut	Filtrat	Suspension
<u>Lycopodium cernuum</u>				
Racine (échantillon N°1)	4.2	4.057	4.249	4.265
" " N°2	4.2	<u>p.d.</u>	4.315	4.265
" " N°3	4.2	<u>p.d.</u>	4.315	4.265
Tige	4.1	4.041	4.208	4.149
Feuille	4.05	4.024	3.908	3.959
<u>Gleichenia linearis.</u>				
Racine	4.8	5.339	5.339	<u>p.d.</u>
tige	5.0	4.673	5.023	5.094
feuille	5.0	4.673	4.757	4.324

NOTA. — p. d. = pas déterminé.

k) Le R. I. M. M., appliqué au sol, donne des valeurs toujours plus acides que l'électrode de quinhydrone, employée avec une suspension de sol. La différence n'est pas constante, elle varie $\Delta pH = 0,3$ à $1,24$. Ceci demande une explication. Peut-être avons-nous opéré sur des sols insuffisamment tamisés?

l) Le R. I. M. M. donne, pour les plantes, des valeurs comparables à la méthode électrométrique pour la zone qui nous intéresse : $pH = 3,8$ à $4,8$. Au-dessus de 5, l'approximation semble moins bonne. Peut-être cela n'est-il pas imputable à la méthode mais à la diversité des pH relevés entre les différents représentants des plantes à $pH > 5,00$. Une étude de *Portulaca oleracea* (succulent) a donné par R. I. M. M. :

ph sol	5.07	5.02	5.25	4.97	4.80	4.97	4.47	4.84
ph tiges	5.40	5.80	5.80	6.30	5.40	5.40	5.40	6.00

Une étude de *Cheilanthes tenuifolia*, fougère, a donné, par R. I. M. M. :

pH sol	5.20	5.00	4.8	6.4	4.5	5.80
pH tiges	4.80	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20

K. — APPLICATION DES METHODES PROPOSEES

En application avec les méthodes proposées seraient classées comme G (valeurs moyennes) « acidifiantes » les plantes suivantes :

Plantes	pH Sol suspens elect	pH racines suap. R.I.M.M.		pH Tiges Suap. R.I.M.M.	
<i>Lycopodium cernuum</i>	4.3	4.2	4.2	4.2	4.1
<i>Melastoma polyanthum</i>	4.5	4.4	4.5	4.2	4.0
<i>Blechnum orientale</i>	4.5	4.6	4.5	5.2	5.0
<i>Gleichenia linearis</i>	4.4	4.6	4.6	4.6	4.7
<i>Pteris ensiformis</i>	4.3	-	4.4	-	4.9
<i>Paspalum Commersonii</i>	4.3	-	4.2	5.0	5.0
<i>Digitaria marginata</i>	-	-	-	4.4	4.5
<i>Cyrtococcum accrescens</i>	-	-	-	4.6	4.6
<i>Cheilanthes tenuifolia</i>	4.5	-	-	-	4.2
<i>Drymaria cordata</i>	-	-	-	-	4.2
<i>Axonopus compressus</i>	-	-	-	4.6	4.6
<i>Tephrosia candida</i>	4.5	-	4.5	4.5	4.5

Sont classées comme bénignes (au point de vue acidification) :

Plantes	pH sol suspens. électro.	pH RACINES suspens. électro. RIMM		pH TIGES suspens. électro. RIMM	
<i>Crotalaria anagyroides</i>	-	-	4.9	5.4	5.2
<i>Passiflora foetida</i>	4.2	-	4.8	5.6	5.4
<i>Selaginella</i> sp.	-	-	5.0	5.5	5.5
<i>Imperata cylindrica</i>	-	-	5.0	5.0	5.0
<i>Hevea</i> (scuaveons)	-	-	5.1	5.4	5.5
<i>Pueraria javanica</i>	4.3	-	-	5.2	5.1
<i>Nephrolepis biserrata</i>	4.3	5.0	-	5.2	5.0
<i>Dryopteris arida</i>	4.3	4.9	-	5.3	5.1
<i>Lygodium microphyllum</i>	4.6	5.0	-	5.3	5.0
<i>Bromheadia palustris</i>	-	-	-	5.3	5.0
<i>Desmodium scalpe</i>	5.0	-	-	5.0	5.2
<i>Paspalum conjugatum</i>	-	-	-	5.3	5.2
<i>Borreria latifolia</i>	-	-	-	5.4	6.1
<i>Macaranga</i> sp.	-	-	-	6.2	5.0
<i>Mikania scandens</i>	-	-	-	4.9	5.4
<i>Hedyotis congesta</i>	-	-	6.3	5.5	6.2
<i>Mimosa pudica</i>	-	-	5.9	-	5.8
<i>Mimosa invisa</i>	-	-	5.8	-	5.6
<i>Leucaena glauca</i>	-	-	5.0	5.3	5.2
<i>Albizia moluccana</i>	-	-	5.3	-	5.7
<i>Calopogonium mucunoides</i>	-	-	5.3	-	5.2
<i>Pueraria javanica</i>	-	-	5.3	-	5.2
<i>Caladium</i> sp.	-	-	-	5.0	5.2
<i>Portulaca oleracea</i>	-	-	-	-	5.6
<i>Centrosema pubescens</i>	-	-	5.0	-	5.0

Les indications correspondent en général bien aux observations phytosociologiques. Les seules exceptions sont les suivantes :

a) *Cyrtococcum accrescens*. — Cette plante semble favorable au sol et son effet acidifiant et néfaste peut être mis en question.

Il est bon de noter que sa décomposition est très lente. Un essai relaté dans le prochain chapitre fait ressortir un temps de décomposition atteignant douze semaines, alors que les plantes dites « favorables » ont mis moitié moins de temps pour disparaître.

b) *Imperata cylindrica*. — Cette plante est si vivace et ses rhizomes pointus font tant de dégâts dans les racines des autres plantes, que son caractère agressif la fait strictement exclure des populations adventices.

c) *Cheilanthes tenuifolia*. — Malgré sa réaction acide, cette fougère de petit développement n'est pas d'une importance telle que sa suppression soit nécessaire. En raison de sa forte humidité (perte au séchage à 100° : 73,83 %), elle se décompose relativement vite (quatre semaines).

d) *Tephrosia candida*. — Malgré sa réaction relativement acide (probablement due à une forte proportion en lignine, 32,96 %), cette Légumineuse doit, en considération de ses autres qualités, être considérée comme favorable. Sa décomposition est toutefois relativement lente (un essai a donné sept semaines).

L. — CONCLUSIONS PRATIQUES

Nous avons exposé l'utilité, pour la sélection des plantes adventices, de la connaissance du pH moyen de leur tissu, en vue de leur décomposition ultérieure et de leurs propriétés acidifiantes en cours de croissance.

Nous avons montré la difficulté d'emploi, dans nos sols acides, des méthodes qui s'appliquent bien en sols plus ou moins neutres. Avec ces méthodes quelque peu modifiées, nous avons, néanmoins, pu prouver l'action acidifiante de quatre plantes très primitives. Le fait que ces quatre plantes étaient déjà condamnées sociologiquement est une indication favorable pour la valeur de ces déterminations.

Avec la méthode « écart-solution », il nous a été possible de déceler l'acidification créée sur un nombre important de plan-

tes. Cette méthode a été introduite trop récemment dans la procédure normale de notre laboratoire pour que nous puissions proposer des conclusions à son sujet.

Nous nous sommes efforcés de trouver des méthodes approchées, permettant de résoudre les difficultés d'estimation. Ces méthodes ont l'avantage d'être simples et rapides. L'une d'entre elles, le R. I. M. M., a l'avantage de ne demander qu'un outillage restreint et de permettre une rapidité étonnante.

Malheureusement, il faut reconnaître que les résultats que l'on obtient demandent des précautions analytiques importantes et que la valeur des résultats ne se confirme qu'après de nombreuses répétitions en sols semblables.

Nous n'avons pas hésité, néanmoins, à faire entrer ces déterminations dans le cycle normal des analyses de plantes recueillies en vue de la sélection des espèces favorables.

Nous n'apportons pas aux résultats un caractère limitatif, mais nous croyons entièrement justifié de considérer comme défavorables au sol toutes les plantes non succulentes, dont les tissus non lignifiés présentent une réaction fortement acide.

A très peu d'exceptions près, les observations physiologiques dans les champs ont confirmé la valeur pratique des déterminations de pH comme critérium rapide de sélection.

IV. — DETERMINATION DE L'ACIDITE DES PLANTES EN VOLUME ET EN INTENSITE

A. — DIFFERENTES METHODES D'ECHANTILLONNAGE

M. James Small a étudié (réf. citée) la valeur comparative des extraits par pression et sections de tissus. Nous ne nous étendrons par sur ce sujet, auquel nous avons déjà fait allusion au début de ce chapitre. L'auteur conclut en faveur des extraits dialysés lorsqu'on emploie la méthode électrométrique. Il donne alors la faveur à l'électrode de quinhedron. Il conclut, d'autre part, en faveur des sections utilisées en conjonction avec sa méthode de recouplement colorimétrique « R. I. M. » quand le but est une étude cytologique des réactions ioniques.

Notre but est plus général que celui de M. Small. Nous

désirons déterminer, rapidement et facilement, une valeur représentant à la fois le *pH* moyen du milieu végétal lorsqu'il entrera en décomposition et un critérium de l'intensité des échanges inoniques entre les plantes en cours de croissance et le sol. L'extrait pressé dialysé est donc l'échantillon-type. Comme nous ne disposions pas de presse, il nous a fallu admettre un procédé plus rudimentaire d'extraction. Nous avons adopté la formule suivante :

a) Le végétal frais (tige ou racine), est coupé en petits morceaux ;

b) 10 grammes sont rapidement placés dans un mortier avec 25 cc. d'eau distillée bouillie ;

c) On écrase avec un pilon ;

d) On laisse déposer pendant 2 à 4 heures ;

e) On filtre rapidement, en utilisant une pompe à vide ;

f) On détermine le *pH* au potentiomètre.

Ce n'est d'ailleurs pas la seule méthode que nous ayons employée pour les jus pressés. Nous avons utilisé, comme nous l'avons déjà signalé :

1) Le jus obtenu par pression de 10 grammes en 10 cc. d'eau et 30 cc. d'alcool neutre à 0,4 % quinquidrone.

2) *Idem*, plus des quantités variables d'alcool.

3) Le jus frais non filtré. Cette dernière méthode a l'avantage d'éviter les auto-oxydations, mais l'inconvénient de donner un *pH* en suspension qui n'est exact que pour les fortes concentrations en (H+), c'est-à-dire *pH* < 4,5.

Nous avons abandonné les solutions alcooliques en raison de « l'erreur d'alcool » que nous avons relevée et qui a déjà été signalée par Billmann, etc...

*

**

Nous avons vu que toutes ces méthodes donnent des résultats similaires, tant que la dilution ne dépasse pas la proportion maxima 1/3,5.

Dans le procédé dit « R.I.M.M. », beaucoup plus rapide mais peut-être moins précis, nous procédons comme suit :

a) On prend trois représentants de chaque plante sur le même sol (on évite les plantes en floraison et aoûtées).

b) Dans chaque plante, on coupe en travers 10 sections minces dans la partie à étudier (racines ou tiges) avec un rasoir bien aiguisé. Les sections auront un diamètre supérieur à 1 1/2 mm.

c) On place aussitôt ces échantillons sur un carreau de faïence blanche, divisée en carrés.

d) Dans chaque carré, on place trois sections, une par individu différent, de même espèce.

e) On détermine le pH colorimétrique par recouplement. (Voir page 147.)

B. — DETERMINATION DU pH PAR LA METHODE COLORIMETRIQUE RIMM

1. — *Principes.*

La « *Range Indicator Method* » (R.I.M. de M. J. Small), est basée sur le fait que dans un indicateur bicolore une couleur domine. Ainsi, le rouge ou le bleu dominant le jaune donné par la plupart des indicateurs. Dans la série des teintes données par certains indicateurs, il y a un point où le jaune est définitivement jaune et un autre, où la couleur est dominée par l'autre élément : rouge ou bleu ; la teinte dichromatique devient alors définitivement rose ou verte. Il y a d'habitude une différence de pH de 0,4 entre ces points bien différents, et c'est cette particularité qui sera utilisée pour obtenir le pH par recouplement. Les indicateurs choisis par M. Small sont remarquables par le peu d'influence que les protéines ont sur eux. La méthode de M. Small comprend :

a) L'utilisation d'indicateurs à teneurs alcooliques inférieures à 10 %, de façon à éviter l'inter-diffusion des sèves de cellules et à rendre négligeable l'erreur d'alcool. (Small a montré que l'immersion en 20 % d'alcool éthylique, pendant au moins 4 heures, déclenche la mort des cellules.)

b) La réduction de la période d'immersion de la section de plantes au temps minimum nécessaire pour que les différents tissus se teintent suivant leur réaction ionique propre. Ce temps peut varier de 1 minute à 12 heures.

c) L'utilisation d'indicateurs réglés aussi près que pos-

sible de leur point de coloration neutre, de sorte qu'un fluide, même très légèrement tamponné, puisse déclencher une variation de couleurs de l'indicateur dans un sens ou dans l'autre.

L'auteur lave les sections dans l'eau neutre avant la teinture, il les teint comme nous l'avons dit, il les lave à nouveau dans l'eau neutre et les examine avec un microscope à faible grossissement.

M. J. Small et ses élèves ont pu, de cette façon, étudier la réaction des différents tissus d'un grand nombre de plantes. Comme nous l'avons déjà exposé, notre but n'est pas une étude cytologique, mais une étude d'ensemble. Il était donc plus intéressant pour nous de connaître la réaction moyenne de la section que la réaction particulière à un tissu. D'autre part, nous avons remarqué que la teinture des différents tissus n'était pas toujours facile à distinguer quand leur couleur propre était marquée.

Nous avons donc préféré modifier légèrement la méthode de la façon suivante : les sections sont immergées sous une goutte d'indicateur. Très rapidement la couleur de l'indicateur change. L'équilibre est établi très vite, généralement en quelques secondes au plus. Nous notons le sens de la variation de couleur de l'indicateur et non pas comme M. Small, la couleur de la section, ce qui ne présenterait que des inconvénients pour notre genre de recherches. Le seul désavantage de ce procédé est que dans certains cas, *d'ailleurs très rares*, la concentration de l'indicateur est trop forte par rapport à la concentration des (H^+) de la section et l'indicateur se comporte comme le sel d'un acide faible tellement tamponné comparativement qu'il ne change pas sa couleur malgré le pH très différent de la section. Dans ces cas extrêmes, on tourne la difficulté en diluant l'indicateur dont on utilise une couche plus faible.

2. — Matériel.

a) Un carreau de porcelaine blanche divisé en 10×10 carrés utiles (voir le schéma ci-joint).

b) 8 indicateurs dont la préparation est donnée dans le tableau ci-joint. Une solution de diphénylamine que nous utilisons pour déterminer par la même occasion les nitrates dans les plantes non lignifiées.

c) Une pipette à gouttes par indicateur (9 en tout)

d) De temps en temps, il est nécessaire d'ajouter aux

indicateurs une goutte de HCl ou NaOH très dilué, pour les ramener à leur point de coloration neutre. On en profite pour vérifier électrométriquement le pH correspondant.

3. — Méthode.

Nous avons déjà exposé comment les échantillons étaient prélevés à raison de 10 échantillons par partie de plante. Rappelons que l'on utilise 3 plantes de même espèce, ce qui fait 30 échantillons par partie de plante de même espèce.

a) Les sections sont disposées sur le carreau. Chaque colonne correspond à un indicateur. Chaque rangée correspond à une partie de plante. La rangée N° 1 comportera des sections de tige de la plante N° 1, la rangée N° 2 comportera des sections de racine de la même plante. La rangée N° 3 comportera quelques grains de sols, prélevés sur la racine de la plante, et ainsi de suite. La dernière rangée du bas ne comportera aucune section, elle servira de témoin pour la variation éventuelle dans le temps, de la couleur de l'indicateur utilisé.

b) Lorsque toutes les sections de plantes sont disposées dans l'ordre, on fait goutter l'indicateur sur celles-ci. Il faut procéder très vite. Les indicateurs sont utilisés l'un après l'autre, en colonne (°).

c) L'opérateur note aussitôt le sens des variations sur une feuille imprimée correspondant exactement à la disposition du carreau. Il note « positif » quand la déviation tend vers une alcalinisation; « négatif » dans le sens contraire. Quand le virage est particulièrement prononcé, le signe « positif » ou « négatif » est redoublé. Quand le virage est incertain, l'opérateur met un point d'interrogation dans la case correspondante.

d) On arrive ainsi à une précision de $pH0,2$ pour les sections de plantes, par comparaison à la méthode électrométrique.

Pour les sols, la précision est, par contre, très mauvaise.

Nous avons l'intention de poursuivre nos investigations à ce sujet.

(°) NOTA. — En raison de la différence de vitesse des différents ions (M. CLARK, page 266), on remarque parfois, pour certains indicateurs, une certaine « turbulence » colorimétrique, causée par les ions les plus rapides (H^+), puis (OH^-).

Afin d'éviter une dissociation qui pourrait entraîner des erreurs de mesures, il faut alors remuer rapidement la couche d'indicateur avec une boucle de platine propre.

PRÉPARATION D'INDICATEURS

	Zone de pH	Grammes	Acide ou base ccs.	Alcool ccs.	Eau ccs.	REMARQUES
Bromo-Phénol bleu	3 à 4.6 jaune-bleu	0.1	14.9 N/100 NaOH	-	Diluer à 250 ccs.	
Bromo cresol vert	3.8 à 5.2 jaune-bleu	0.1	14.3 N/100 NaOH	-	Diluer à 250 ccs.	Eviter séchage produisant poudre jaune
Benzène-azo- α -naphthylamine	3.7 à 5 rouge-jaune	0.01	0.4 N/10 HCl	30	70	
Méthyle-rouge	4.2 à 6.3 rouge-jaune	0.02	-	60	40	
Di-Ethyle rouge ou Ethyle-rouge	4.5 à 6.5 rouge-jaune	0.02	-	60	40	
Bromo Cresol pourpre	5.2 à 6.8 jaune-rouge	0.01	18.5 N/100 NaOH	-	Diluer à 250 ccs	
Bromo-thymol bleu	6 à 7.6 jaune-bleu	0.1	16 N/100 NaOH	-	d*	
Phénol rouge	6.8 à 8.4 jaune-rouge	0.1	28.2 N/100 NaOH	-	d*	Point de coloration minimum, 7.

ZONES DE VIRAGE

Indicateur	ABRÉVIATIONS	Couleur virage acide	Zone de Virage Utilisée					
			par M. Small		Couleur virage alcalin	D'après nous 28.50°C		
Phénol-Rouge	P R	jaune	pH 6.8	pH 7.0	rose (rouge)	Acide 6.8	Neutre 6.97	Alcalin 7.2
Bromo-Thymol bleu	B T B	vert-jaune (jaune)	6.2	6.4	vert (bleu)	6.1	6.4	6.5
Bromo-Cresol pourpre	B C P	jaune-violacé (jaune)	5.9	6.2	violet pourpre (violet)	5.8	6.0	6.2
Di-éthyle rouge	D E R	rose pâle (rouge)	5.6	5.9	jaune	5.6	5.8	5.9
Méthyle rouge	M R	rose pâle (rouge)	5.2	5.8	jaune	5.5	5.4	5.6
Benzène-azo- α -Naphthylamine	B A N	rose pâle (rouge)	6.4	6.8	jaune	4.4	4.6	4.8
Bromo-Cresol vert	B C V	jaune verdâtre (jaune)	4.0	4.4	vert pâle (bleu)	4.0	4.2	4.4
Bromo-phénol bleu	B P B	jaune sale (jaune)	3.4	4.0	gris (violet bleu)	3.4	3.7	4.00

NOTA. — a) La couleur dominante est mise entre parenthèses.

b) L'opérateur a toujours sous les yeux une charte colorée, indiquant les trois teintes utiles du virage d'après le tableau ci-dessus. (Voir CLARK, page 64 a. Edition 1928).

c) L'exactitude de cette charte est vérifiée au potentiomètre, chaque fois que l'on fait de nouvelles solutions d'indicateurs.

d) Il est utile, lorsqu'on n'est pas habitué à ce travail, de marquer sur la charte les 5 teintes du virage : les trois précédentes et les deux teintes de virage complet.

« PORCELAINE RIMM »

Espèces	Partie	B.P.B.	B.C.V.	B.A.N.	M.R.	D.E.R.	B.C.P.	B.T.R.	P.	R.	Diphenylamine	Section Témoins
Lycopodium cernuum	Tiges	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Racines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sol	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Centrosema pubescens	Tiges	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Racines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sol	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Melastoma	Tiges	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Racines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sol	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Polyanthum	Tiges	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Racines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sol	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Indicateurs Témoins												

pH de Section de Plantes par le R.I.M.M. date : I.8.82.

Espèce	Partie	B.P.B.	B.C.V.	B.A.N.	M.R.	D.E.R.	R.C.P.	P.T.P.	P.R.	Diphenylamine	Origines des Plantes
Lycopodium cernuum	Jours	3	4	3	4	0	1	0	4	0	5
	Tiges	4	4.1	4	4.1	4	4	4	4	4	4
	Racines	4	4.1	4	4.1	4	4	4	4	4	4
Centrosema pubescens	Sol	4	4.2	4	4.2	4	4	4	4	4	4
	Tiges	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
	Racines	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
Melastoma	Sol	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
	Tiges	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
	Racines	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
Polyanthum	Sol	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
	Tiges	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
	Racines	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
Polyanthum	Sol	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
	Tiges	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4
	Racines	4	4.4	4	4.4	4	4	4	4	4	4

« TABLEAU RIMM DES OBSERVATIONS »

C. — TRACE DES COURBES-TAMPONS

Théoriquement $\beta = \frac{d(B)}{d\text{pH}}$, nous devrions donc tracer la courbe dérivée de la fonction : $(B) = f(\text{pH})$ (1).

En pratique, l'usage de la géométrie analytique dispense de ces calculs fastidieux et inutiles. L'opérateur se contentera donc de tracer la courbe (1) sur laquelle il pourra aisément raisonner en étudiant la variation de la tangente.

Nous déterminons les courbes de titration (B) de la même façon que pour les mesures électrométriques de pH. Nous procédons sur filtrat, car les débris végétaux augmentent le tamponnement apparent au-dessus de pH 5.

a) On dispose d'un verre conique à expérience, placé sous une burette, donnant au moins 0,1 cc. de précision, et si possible 0,05 cc.

b) La solution est divisée en deux aliquots correspondant chacun à 5 grammes de plante fraîche. Chaque aliquot est placé dans un verre à expérience.

c) On enclenche le circuit du galvanomètre et on détermine le nombre de cc. NaOH N/20 ou Hcl N/20 qui correspond sensiblement à $\Delta\text{pH} = 0,5$, soit 300 millivolts. On note la température et les corrections de ΔpH se feront ultérieurement.

d) L'opération doit se faire rapidement et on ne doit laisser le circuit cellule-galvanomètre enclenché que le minimum de temps nécessaire.

e) De propre en proche, on titre jusqu'à pH = 7.

f) Puis, avec le 2^e aliquot, on titre du côté acide jusqu'à pH = 3.

g) On trace la courbe :

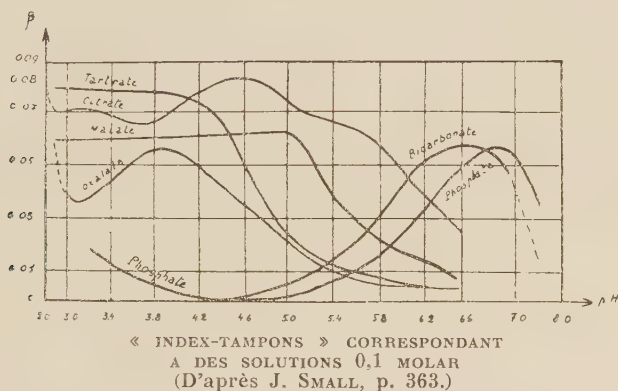
$$\text{cc. (base ou acide)} = f(\text{pH})$$

h) Quand on calcule l'Index-tampon de Van Slyke, dérivée de la courbe-tracé (ou en d'autres termes, le quotient : nombre de grammes équivalents de base forte par litre de solution, divisé par la variation de pH), nous ramenons toujours au litre de jus la plante et non au litre d'extrait étendu.

i) Pour cela, on détermine à l'étuve la perte de poids d'un échantillon à 100°C, soit m%, cette perte de poids. Nous

posons comme principe que nous avons utilisé $\frac{m}{100} \times 5$ gram-

mes de jus naturel. Cette estimation n'est évidemment qu'approximative, mais comme il nous a été possible, pour raisons pratiques, de procéder sur le jus total pur, nous avons dû nous en contenter.



E. — DE L'UTILISATION PRATIQUE DES COURBES TAMPONS

Nous avons déjà exposé que, sur simple inspection de la courbe-tampon, ou à son défaut, de la courbe de neutralisation, on pouvait se rendre compte de :

- a) L'influence du CO_2 ;
- b) L'influence des phosphates;
- c) L'influence des acides organiques forts.

Dans beaucoup de cas favorables on peut même, grâce aux travaux de M. Small, préjuger du caractère dominant de tel ou tel acide. Il y a là un gros avantage en faveur de ces courbes qui dispensent en pratique d'effectuer des analyses longues, fastidieuses, dont l'exactitude absolue est quasi-impossible.

On peut faire plusieurs centaines de courbes de neutralisation dans le temps requis par une analyse. Il y a là un avantage pratique qui n'est pas à dédaigner.

Ayant évalué *grosso modo* les acides dominants, quelle déduction devons-nous en tirer?

Rôle des acides organiques au cours de la décomposition.

a) Ils détermineront un pH qui influera sur le mode de décomposition. Les acides à pK faible : (tartrates, oxalates,

malates et citrates), secont particulièrement nuisibles en ce sens qu'ils retarderont la décomposition. Les bicarbonates et les phosphates sont, d'autre part, favorables.

b) Quand ils sont *neutralisés*, ces acides pourront servir de bonnes sources d'énergie pour les bactéries et fungi.

Néanmoins, l'acide oxalique ne peut être utilisé que dans une mesure limitée (Waksman, page 409). Avant que ces sels acides ne soient plus ou moins neutralisés par oxydations successives de leurs anions, le déchet végétal abandonné en surface aura déjà subi des transformations profondes qui auront annulé une large part de sa valeur humifiante.

c) Il est aussi à noter que l'acide tartrique, l'acide citrique et l'acide malique empêchent la précipitation par les alcalis des oxydes Fe_2O_3 , CaO , etc... Ils peuvent donc, en certains cas, aider au retrait par lavage d'éléments rares.

*
**

Il ressort, de tout ceci, qu'une courbe de titration fortement tamponnée entre 3,5 et 4,5 sera toujours un indice très défavorable à la plante, en vue de sa sélection comme plante adventice.

Tout ceci ne s'applique d'ailleurs pas aux succulents, qui contiennent, à certains moments de notables proportions d'acides organiques forts. (Voir Small) : les composés organiques, dans les succulents, se prêtent aisément à la décomposition (nous avons d'ailleurs vérifié qu'ils contenaient très souvent une forte proportion de nitrates), particulièrement en raison de leur forte teneur en eau et faible proportion de lignine.

V. — APPLICATION DETAILLEE A QUELQUES PLANTES

A. — INTRODUCTION

Nous avons déjà vu que le *Lycopodium cernuum* est une des plantes dont nous avons pu prouver le pouvoir acidificateur par la méthode « écart-suspension » déduite de l'étude de M. Chaminade. Nous avons cru utile de faire débiter ce chapitre par l'exposé d'une série de déterminations ayant pour but de vérifier l'effet de cette activité acidique sur le sol.

Nous comparerons ensuite les différentes méthodes d'esti-

mation de l'acidité en volume et intensité pour quelques plantes dont : *Lycopodium cernuum*, *Gleichenia linearis*, *Blechnum orientale* et *Crotalaria anagyroides*.

B. — EFFET CHIMIQUE DU LYCOPODIUM SUR LE SOL

a) Nous reportons, sur les tableaux N° 1, le résultat de 5 analyses de sol de *Lycopodium cernuum* et 5 analyses de sol voisin nus, faites dans notre laboratoire.

Chaque échantillon présente un mélange précis de 10 prélèvements effectués à quelques mètres les uns des autres.

ANALYSES CHIMIQUES

ORIGINE	N°	P ₂ O ₅ % total	K ₂ O % total	CaO %	MgO %	C %	N %	C/N	pH	P ₂ O ₅ % soluble	K ₂ O % soluble
SOLS DE LYCOPODIUM.	1	0,0046	0,0028	0,0322	0,0011	1,95	0,11	17,73	4,451	0,0025	0,0278
	2	0,0082	0,0141	0,0294	0,0010	2,01	0,15	12,97	4,617	0,0020	0,1040
	3	0,0083	traces	0,0350	0,0011	2,04	0,20	10,20	4,301	0,0019	0,0991
	4	0,0076	0,0513	0,0392	0,0011	1,95	0,43	4,53	4,436	0,0016	0,0984
	5	0,0041	traces	0,0420	0,0009	1,95	0,16	12,19	4,484	0,0016	0,0250
SOLS NUS.	1	0,0092	0,0406	0,0154	0,0008	1,93	0,21	9,19	4,634	0,0012	0,0038
	2	0,0085	0,0068	0,0210	0,0012	1,91	0,23	8,30	4,517	0,0008	0,0013
	3	0,0059	traces	0,0168	0,0021	1,91	0,20	9,55	4,534	0,00008	0,0064
	4	0,0075	0,0628	0,0210	0,0004	1,91	0,12	15,92	4,500	0,0008	0,0025
	5	0,0037	traces	0,0196	0,0012	1,92	0,11	17,45	4,617	0,0008	traces

ANALYSES MÉCANIQUES

		Gravier	Sable grossier	Sable fin	Limon	Argile
Sols de	1	0.20	2.73	73.75	8.10	9.25
	2	1.40	3.16	70.17	6.65	15.20
	3	1.15	4.41	70.96	10.10	17.50
Lycopodium	4	1.75	4.58	59.94	6.85	21.00
	5	Nil	1.63	81.07	10.75	7.60
Sol nu	1	0.40	1.76	69.67	8.05	15.00
	2	12.50	3.68	54.22	20.20	1.55
	3	1.25	3.95	59.36	25.15	0.70
	4	2.00	3.10	69.19	20.40	2.70
	5	2.50	3.38	69.69	19.25	2.20

TABLEAU N° 1

Conclusions.

1) *Analyse mécanique.* — Le gravier est, dans tous les cas, en proportion nettement plus faible dans les sols de *Lycopodium*. Il y a probablement attaque des éléments grossiers par l'acide fort exsudé par les racines de cette plante.

2) *Analyse chimique.* — La chaux, les phosphates et potasse solubles sont, dans tous les cas, en proportion plus élevée dans les sols de *Lycopodium*. La solubilisation des éléments grossiers est donc certaine.

Le Carbone est, dans tous les cas, en proportion légèrement plus élevée dans le sol de *Lycopodium*; ce n'est pas le cas pour l'azote, qui donne des résultats irréguliers. La présence du *Lycopodium* augmente donc l'humus, mais il n'est pas certain que cet humus soit utile.

L'acidité est dans 4 cas sur 5 plus importante dans les sols de *Lycopodium*.

Les sels totaux de P_2O_5 , K_2O , MgO ne donnent pas d'indications stables.

b) Nous reportons sur le tableau N° 2, une analyse moyenne de 10 échantillons prélevés dans une plantation différente, par un autre opérateur.

Ce tableau confirme en tous points les conclusions de l'expérience N° 1.

ANALYSE		
Mécanique	Sol de <i>Lycopodium</i>	Sol Nu
Gravier	0.48%	2.48%
Sable grossier	1.86%	3.22%
Sable fin	40.72%	72.77%
Limon	24.15%	10.57%
Argile	18.95%	9.22%
Chimique		
Azote	0.15%	0.21%
Carbone	4.10%	3.99%
C/N	27.3%	19.0%
pH (elect)	4.9%	4.9%
P_2O_5 (total)	0.0193%	0.0129%
K_2O (total)	0.0482%	0.0271%
CaO	0.0373%	0.0336%
MgO	0.0041%	0.0154%

TABLEAU N° 2

C. — EXAMEN DES COURBES DE NEUTRALISATION DE LA SEVE (Voir p. 149)

a) *Gleichenia Linearis*. — β diminue brusquement après pH 5 indiquant la présence prépondérante d'acide malique. La présence d'acide oxalique n'est pas nette, mais elle est possible.

b) *Lycopodium cernuum*. — Il y a encore prépondérance de malates. La décroissance progressive de β entre pH 5 et 6 indique la présence de citrates. Comme il n'y a pas de creux à pH 4 (causé par les citrates), on est amené à supposer une présence notable d'oxalate.

La présence de quelques phosphates semble probable par une reprise à pH 6,5.

c) *Mcclastoma polyanthum*. — La présence d'oxalate sem-

ble indiquée par une petite bosse à pH 3,9. La présence de citrates (ou succinates?) est nettement marquée. La reprise de la courbe au-dessus de 6 indique la présence d'acides faibles : bicarbonates et, ou phosphates.

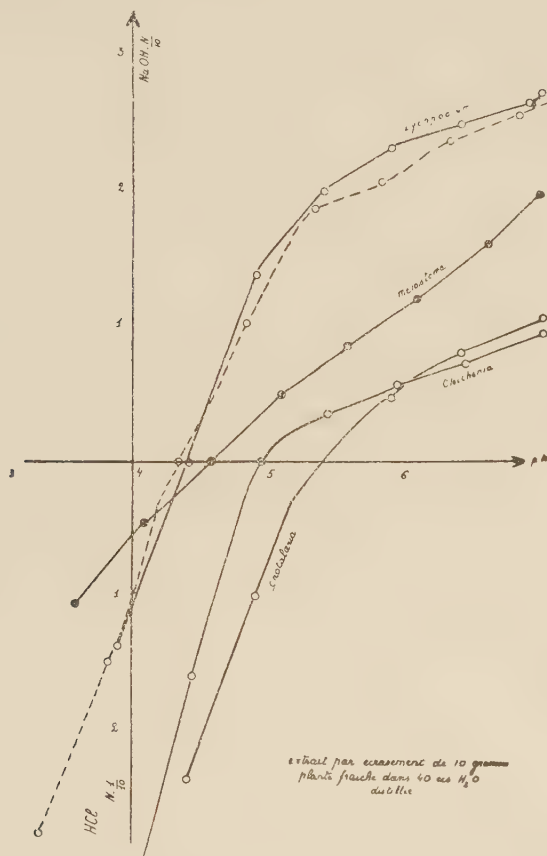


Schéma I. — Courbe de neutralisation de jus de racines.

Dans l'ensemble, cette courbe présente une régularité remarquable. On peut supposer à première vue (ce que nous vérifierons dans la 5^e partie), que la décomposition de cette plante sera plus rapide et plus favorable que celle des autres.

d) *Crotalaria*. — La prépondérance de malates semble nettement marquée.

Le fort tamponnement dans la région acide est un signe défavorable pour la décomposition, à un degré moindre, néanmoins, que pour le *Gleichenia* et le *Lycopodium*.

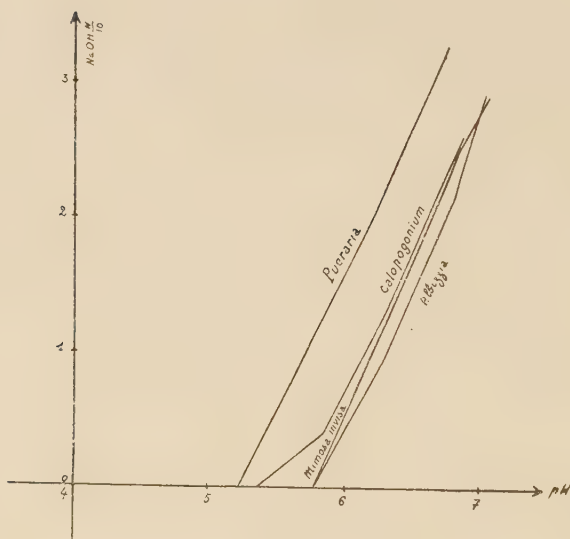


Schéma II. — Courbe de neutralisation de jus de racines.

D. — ESTIMATION DE LA CONCENTRATION TOTALE DES ACIDES ORGANIQUES DE LA SEVE, D'APRES LES COURBES DE NEUTRALISATION

a) *Méthodes d'estimation.* — Nous avons déjà exposé la méthode employée de calcul de l'Index-Tampon β . On peut donc déduire de la courbe, le β correspondant au pK (pH d'effet tampon maximum) de l'acide cherché et calculer la concentration de cet acide (A) supposé seul par la formule :

$$\beta = 2.303 \alpha \frac{(1-\alpha)}{1} (A)$$

quand $pH = pK \quad \alpha = \frac{1}{2} \quad (A) = \beta. 1,735$

NOTA I. — Nous avons joint (schéma II) la courbe de neutralisation de 4 Légumineuses remarquables par un fort tamponnement causé par acides faibles : bicarbonates et phosphates; on voit que d'un seul coup d'œil la discrimination des éléments-tampons dominants est facile.

NOTA II. — Les feuilles sont très souvent beaucoup plus tamponnées que les racines. Pour les 4 plantes représentées graphiquement dans le schéma I, le tamponnement des feuilles est de deux à quatre fois supérieur à celui des racines. Nous avons représenté en pointillé, la courbe de neutralisation des feuilles de *Gleichenia* (échelle de $NaOH$ et HCl réduite de moitié, pour faire tenir la courbe dans la feuille).

On remarquera la présence d'oxalates (environ de pH 4) de malates et d'acides faibles : bicarbonates et phosphates.

Cette méthode demande une précision considérable dans la titration au voisinage du pK . Elle a un autre inconvénient : les pK des sels ne sont qu'approximativement connus (M. Small indique un pK de 3,9 pour les oxalates). L'acide oxalique, par contre, a un pK à 1,42, l'autre à 4,39. Le calcul indique que l'effet-tampon maximum devrait être voisin et très légèrement inférieur à 4,39.

Il vaut donc mieux utiliser des zones de pH assez larges (en particulier des zones variant de $\Delta pH = 0,5$), sur lesquelles on a calculé d'avance le β moyen, pour une concentration acide de 0,1 Molar.

D'après les courbes de M. Small (p. 363), on peut déterminer rapidement le β moyen pour une zone déterminée, par exemple :

Valeurs de β pour une concentration acide de 0,1 Molar.			
$pH =$	3,8 à 4,2	4,2 à 4,8	4,8 à 5,4 :
Malates	0.062	0.063	0.054
Oxalates	0.055	0.040	0.018
Citrates	0.073	0.082	0.074
Tartrates	0.077	0.057	0.022

Nous ne savons pas jusqu'à quel point les courbes de M. Small peuvent être considérées comme précises, mais il ressort de la vérification de quelques points que leur exactitude est suffisante pour notre but.

Ex: Vérification pour les Malates.-

$$pK_1 = 3.49 \quad K_1 = 0.331 \times 10^{-5}$$

$$pK_2 = 5.11 \quad K_2 = 0.776 \times 10^{-5}$$

$$\alpha = \frac{K}{K + (H^+)} = \text{coefficient de dissociation}$$

$$(a) \text{ pour } pH = 3.90 \quad (H^+) = 0.126 \times 10^{-3}$$

$$\text{d'où : } \alpha_1 = 0.724 \quad \alpha_2 = 0.058$$

$$\beta_1 = 2.303 \times 0.724 (0.276) \times 0.1 = 0.0461$$

$$\beta_2 = 2.303 \times 0.058 (0.942) \times 0.1 = 0.0126$$

$$\beta_{3.9} = 0.0587$$

$$(b) \text{ pour } pH = 5.40 \text{ nous avons trouvé } \beta = 0.0537$$

$$(c) \text{ pour } pH = 4.94 \text{ nous avons trouvé } \beta = 0.0529$$

NOTA. — Au-dessus de pH 5,4 il ne devient plus possible de négliger phosphates ($\beta = 0.008$) et bicarbonates ($\beta = 0.016$). Ces pH alcalins, ne nous ont pas préoccupés puisque notre but était en dehors d'une identification d'acide organique, de nous rendre compte, *grosso modo*, de l'intensité de leur concentration.

**
**

On voit donc que, pour le cas général de nos plantes acides où les Malates sont prédominants et les oxalates masqués par des citrates, on pourra obtenir une bonne approximation de la molarité totale acidique, estimée en « équivalent-Malates », en se servant des coefficients calculés par M. Small pour les Malates.

Connaissant l'Index-tampon d'un jus de plantes au pH original, on pourra en déduire la concentration en « équivalent-Malates » par proportion. En effet, à un pH donné, β est proportionnel à la concentration acidique (A).

$$\beta = 2.303 \alpha (1 - \alpha) (A).$$

b) *Application détaillée au Gleichenia.* — Il a fallu 0,35 cc. N/10. NaOH pour alcaliniser de $\Delta pH = 0,5$ le jus exprimé de 10 gr. de racines (dilué dans 40 cc. d'eau distillée re-bouillie). L'humidité d'un échantillon séparé étant 39,72 %, nous en déduisons que la sève occupait à peu près 3,97 cc. Le jus était à l'origine à pH : 4.936.

$$\beta = \frac{0.35 \times 1000}{10.000 \times 0,5 \times 3.97} = 0,0176 \text{ Moles par litre.}$$

« L'équivalent Malates » aura donc une concentration totale acidique :

$$(A) = \frac{0,16 \times 0.0176}{0.052} = 0,034 \text{ Moles}$$

Plante	Partie	pH origin.	ccs. sève	ΔpH	ccs. NaOH N/10	β sève	β moyen de Malates 0,1 Molar	Molarité des équivalents Malates
Gleichenia	racines	4.94	5.97	0.5	0.85	0.0176	0.052	0.034
	tiges	4.82	5.06	0.5	0.70	0.0276	0.058	0.048
	feuilles	4.32	5.70	0.5	2.74	0.0960	0.063	0.152
Lycopodium	racines	4.39	3.62	0.5	1.375	0.0760	0.063	0.121
	tiges	4.40	5.62	0.5	1.35	0.0460	0.063	0.073
	feuilles	3.90	5.62	0.5	2.56	0.0880	0.062	0.142
Melastoma	racines	4.58	5.19	0.6	0.50	0.0193	0.062	0.031
	tiges	3.90	6.08	0.5	1.23	0.0404	0.062	0.065
Crotalaria	racines	5.39	6.24	0.5	0.50	0.0158	0.027	0.0565
	tiges	5.30	7.30	0.5	0.70	0.0192	0.034	0.0565

E. — ANALYSE DES ACIDES ORGANIQUES

Pour vérifier jusqu'à quel point on peut se fier aux courbes de neutralisation, nous avons analysé les principaux acides organiques de quelques plantes.

La méthode employée fut celle de MM. Hilger et Cross, développée par MM. C. T. Ingold et J. I. Armstrong, citée par M. Czapek (*Biochimie der Pflanzen* Bd. III, 1925), et M. Small (p. 381).

Les résultats sont reportés sur le tableau suivant.

Des six déterminations, une seule donne des résultats nettement différents : les racines de *Gleichenia*, où les déterminations varient de 140 à 200 % environ. Ceci ne nous étonne pas beaucoup en considération de la variation importante de β entre les diverses parties de cette plante. Il se peut très bien que des différences soient relevées dans les déterminations, car elles n'ont pas toutes été faites sur la même sève.

Conclusion.

a) Les trois plantes analysées sont beaucoup plus fortement tamponnée dans la région « acide » ($\text{pH} < 5$), que dans la région « alcaline » ($\text{pH} > 5$).

b) Il y a parfois des différences considérables entre les teneurs en acides des différentes parties d'une même plante.

c) La méthode dite des « Courbes de neutralisation », est valable comme méthode empirique rapide de laboratoire pour la sélection des herbes adventices.

Elle permet de voir très vite :

1) La force des acides en présence.

Acides organiques forts : oxaliques, tartriques et citriques;

Acides faibles : citriques, bicarbonates et phosphates.

2) La prépondérance de tel ou tel acide.

3) Si cela est nécessaire, on peut aussi estimer avec une précision suffisante, pour le but cherché, la molarité totale des acides en présence.

ANALYSE DES ACIDES ORGANIQUES PRINCIPAUX

Plantes	Perte 100°C %	Acide Malique M=134		Acide Oxalique M=90		A. Citrique M=192		A. Tartrique M=150		Molarité totale des acides
		% sur plante	Molarité sur sève	% sur plante	Molarité sur sève	% sur plante	Molarité sur sève	% sur plante	Molarité sur sève	
<i>Stachys</i> tiges	73.00	0.272	0.0278	0.315	0.0480	0.0175	0.0012	0.015	0.0014	0.0784
<i>Stachys</i> racines	63.36	0.389	0.0458	0.270	0.0474	traces	traces	0.015	0.0016	0.0948
<i>Stachys</i> tiges	50.60	0.231	0.0340	0.270	0.0593	0.044	0.0045	traces	traces	0.0978
<i>Gleichenia</i> racines	39.72	0.336	0.0631	0.135	0.0572	0.028	0.0034	0.045	0.0076	0.1119
<i>Gleichenia</i> tiges	59.17	0.423	0.0543	0.450	0.0960	0.180	0.0161	0.015	0.0017	0.1581
<i>Opodium</i> racines	38.64	0.360	0.0693	0.315	0.0903	0.083	0.0112	0.068	0.0117	0.1825

Calcul de l'index-tampon théorique d'après les analyses

	pH original	MALA T E S		O X A L A T E S		C I T R A T E S		T A R T R A T E S		TOTAL
		Molarité sève	β moyen de 0,1 Molar pH=0,5	Molarité sève	β moyen de 0,1 Molar pH=0,5	Molarité sève	β moyen de 0,1 Molar pH=0,5	Molarité sève	β moyen de 0,1 Molar pH=0,5	
Crotalaria a. tiges Racines	5,30 5,39	0,0278 0,0458	0,0094 0,0121	0,0094 0,0474	0,0038 0,0035	0,0012 traces	0,0008 -	0,0014 0,0016	0,0002 0,0002	0,0142 0,0138
Gleichenia l. tiges Racines	4,82 4,94	0,0340 0,0631	0,0197 0,0328	0,0593 0,0378	0,0190 0,0140	0,0113 0,0053	0,075 0,072	traces 0,0076	- 0,0013	0,0344 0,0418
Lycopodium c. tiges Racines	4,40 4,39	0,0543 0,0693	0,0342 0,0436	0,0560 0,0903	0,0330 0,0530	0,0284 0,0298	0,082 0,082	0,0017 0,0017	0,0008 0,0008	0,0766 0,0882

Comparaison des méthodes.

Plantes	Partie	β original		Molarité Totale des Acides Principaux	
		Méthode 1 exacte.	Méthode 2 approchée	Méthode 1 approchée	Méthode 2 exacte
Crotalaria	tiges	0,0192	0,0142	0,0565	0,0764
	racines	0,0158	0,0158	0,0585	0,0948
Gleichenia	tiges	0,0278	0,0344	0,0480	0,0978
	racines	0,0176	0,0418	0,0340	0,1119
	feuilles	0,0960	pas det.	0,152	pas det.
Lycopodium	tiges	0,0460	0,0766	0,0730	0,1581
	racines	0,0760	0,0882	0,1210	0,1825

La "Méthode 1" est la méthode utilisant les courbes de neutralisation.

Cette méthode est exacte pour le calcul de β mais seulement approchée pour l'estimation des acides.

La "Méthode 2" est celle qui analyse quantitativement les 4 principaux acides organiques. Elle est en principe exacte (à 10 % près) pour cette estimation. Elle n'est qu'approchée pour le calcul de β original (index tampon au pH original), car elle néglige les acides de moindre importance.

CINQUIEME PARTIE

DE L'INFLUENCE DES PLANTES ADVENTICES
SUR LA FERTILITE DE NOS SOLS

I. — INTRODUCTION

Comme il est indiqué précédemment, la quatrième et la cinquième partie de cette étude traitent de la recherche des critères chimiques simples qui aideront à discriminer parmi la flore spontanée des plantations, les espèces qui reconstitueront ou maintiendront la fertilité naturelle du sol.

En raison de l'importance de la matière, la quatrième partie a été entièrement réservée à l'étude du pH des plantes comme critérium des échanges ioniques entre ces plantes et le sol.

Il nous reste donc, au cours de cette cinquième partie, à étudier la décomposition des plantes adventices et à nous rendre compte jusqu'à quel point les facteurs classiques : $N\%$, $C\%$, C/N pH , lignine %, etc., pourront être utilisés *a priori* comme critérium d'une décomposition favorable au sol.

Notre but est nettement pratique. Nous avons donc toujours cherché à maintenir les conditions normales d'un sol de plantation au cours de nos expériences.

Nous ne résumons pas la documentation traitant de ces sujets que nous avons citée dans la liste des ouvrages consultés. Néanmoins, pour indiquer l'orientation de nos recherches, nous condenserons dans le chapitre II les points importants qui nous ont guidés. L'ouvrage qui a été largement utilisé à ce sujet, est : *Principles on soil microbiology*, de M. Waksman.

Afin d'éviter des répétitions nombreuses, nous avons également inclus dans ce chapitre II les conclusions pratiques des expériences exposées dans les pages qui suivent.

Nous avons ainsi voulu rapprocher la théorie et la démonstration de son applicabilité à nos sols de Plantation.

II. — LISTE DES FACTEURS DONT L'INFLUENCE SUR LA DECOMPOSITION DES VEGETAUX A ETE MONTREE

A. — VUE D'ENSEMBLE

La nature et la vitesse de la décomposition des déchets organiques dépendent : (1) de la composition chimique, (2) des microorganismes présents, (3) des conditions : pH, température, humidité, aération (4), de la présence des éléments inorganiques indispensables, principalement azote et phosphore (d'après Waksman, 588, 501, 355, 364, 367).

Comme nous nous limitons à l'étude de la décomposition des déchets *en surface* du sol, toutes les conditions énumérées ci-dessus s'appliqueront tout particulièrement aux plantes elles-mêmes, sauf la température et la contribution du sol : microorganismes, humidité, etc...

B. — CONTINUITE ET VOLUME DES APPORTS ORGANIQUES

Une abondance de matière organique favorisera un grand développement de bactéries et de fungi, ce qui, éventuellement, sera accompagné par une prolifération de protozoaires et de vers (50).

La fertilité de nos sols dépendra donc de la continuité et du volume des apports organiques.

C. — INFLUENCE DU pH DU MEDIUM

Une réaction acide favorisera les fungi (sauf les actinomyces) et tendra à supprimer les bactéries, spécialement les groupes qui prennent une part active dans de nombreuses transformations importantes. Une réaction alcaline tendra à ralentir le développement des fungi et sera favorable aux actinomyces et aux nombreuses bactéries (50, 220 et 18).

Les bactéries et actinomyces sont moins favorables au rendement des cycles azote et carbone que les fungi. M. Waksman a écrit à ce sujet (449) : « *Actinomyces et bactéries synthétisent*

« une quantité de protoplasme considérablement plus faible
 « que les fungi. La teneur en azote de ces organismes est plus
 « élevée que celle des fungi, 12 % au lieu de 4 %, mais en
 « raison de l'assimilation considérablement plus basse de car-
 « bone, une grande quantité de l'azote est libérée comme
 « ammoniacque... D'après une étude de Neller..., la quantité
 « d'ammoniacque libérée par les fungi était négligeable, en com-
 « paraison de celle libérée par les bactéries... Ceci tend à
 « démontrer qu'avec une substance qui a un rapport C/N
 « de 16, les fungi ont besoin de tout l'azote, pour les besoins
 « de synthétisation, tandis que les bactéries libéreront comme
 « ammoniacque une quantité d'azote proportionnelle au carbone
 « décomposé » (traduction).

Puisque le but de la décomposition est, en grande partie, d'augmenter la teneur en NH_3 du sol (et éventuellement NO_3) il nous semble évident, *a priori*, que l'ammonisation sera plus utilement effectuée au sein du sol qu'en surface. Il semble donc logique que la décomposition économique des engrais verts en surface du sol soit une destruction des déchets végétaux, accompagnée de synthétisation fungicide entraînant le rendement maximum du cycle de l'azote. Le morcellement considérable de la matière organique qui en résultera, permettra une incorporation naturelle aisée au sein du sol. L'ammoniacque qui y sera formée ultérieurement aura alors le maximum de chance d'être fixée. Les pertes par évaporation étant réduites au maximum, le cycle optimum sera atteint. La dernière expérience que nous relatons a montré, en particulier, que le rendement en azote total de la décomposition en surface du sol baisse rapidement dès que l'accumulation de NH_3 dans le sol dépasse une certaine limite. Notre hypothèse semble donc justifiée.

Nous conclurons donc que la décomposition superficielle sera plus utilement effectuée par des fungi que par des bactéries. Puisque le pH est le meilleur moyen sélectif pour ces cultures (18), la réaction ionique des tissus réglera, au début du moins, le mode de décomposition. Ce pH optimum vis-à-vis du rendement azote sera donc voisin de 5. (220.)

Les expériences que nous relatons, au cours de cette cinquième partie, semblent confirmer le bien-fondé de cette conclusion.

D. — INFLUENCE DE LA RAPIDITÉ DE DÉCOMPOSITION

Waksman a écrit, à ce sujet, page 629 :

« *En hâtant la période de décomposition des hydrates de carbone, on hâte la conversion de l'azote soluble (NH_3 , etc.), en formes insolubles, grâce à l'activité des microorganismes. Il est possible que la lignine ait aussi une certaine utilité à ce sujet.* »

La vitesse de décomposition sera donc une indication pratique utile qui permettra de préjuger, *grosso modo*, de la capacité fertilisante d'un engrais vert et du rendement du cycle azote. Nos expériences nous ont montré que ceci n'était vrai que dans les grandes lignes.

E. — INFLUENCE DE LA TENEUR EN AZOTE

Les fungi assimilent 30 à 50 % du carbone des engrais verts pour la synthèse de leur cellule... Cette dernière contient 3,5 à 8 % d'azote. En d'autres termes, la teneur minima en azote du mycélium du fungus est généralement le double de la teneur en azote de l'engrais vert (245). Le fungus réassimilera donc généralement la presque totalité de l'azote des engrais verts quand leur teneur est, par exemple, trois fois moindre que celle du mycélium. Le fungus pourra même, quand la plante est à faible teneur d'azote, assimiler l'azote disponible du sol (245), même les nitrates (252).

Quand il y a accumulation d'ammoniaque (déchets à haute teneur d'azote), il pourra y avoir perte par évaporation. La quantité d'ammoniaque qu'un sol peut retenir dépend de sa réaction, de la nature des bases absorbées et de l'effet-tampon (612).

Dans nos sols pauvres, une ammonisation trop rapide n'est donc pas souhaitable, à moins que le sol ne soit préalablement enrichi en substances absorbantes.

La perte d'ammoniaque n'est pas négligeable : les expériences de Rothamsted ont montré qu'au cours des 47 applications annuelles d'engrais, 14 % de l'azote s'est accumulé comme humus, 25 % a été utilisé par les plantes, et 60 % a été perdu probablement à l'état gazeux, puisqu'il y avait très peu de drainage (629).

Nous déduisons de tout ceci que les plantes à haute teneur d'azote (N supérieur à 3 %), tendront à affaiblir le rendement du cycle de l'azote du sol, à moins que leur azote ne soit d'origine gazeuse (associations symbiotiques). D'autre part, ces pourcentages élevés d'azote seront utiles pour permettre une décomposition rapide des composés ligneux. (Waksman, Soil Sc. juillet 1933.)

En vérification de ces déductions, nos expériences ont montré que le pourcentage d'azote accumulé sous forme minéralisée, dans le sol, baissait très rapidement quand la teneur en azote excédait 2 %.

F. — UTILITE DE LA PRESENCE DES NITRATES DANS LA PLANTE FRAICHE

La présence de nitrates dans la plante fraîche, révélée par la réaction de Diphenylamine, sera un indice favorable, indiquant que :

— La plante a peut-être une action utile sur la nitrification. (Beaucoup de succulents entraînent le virage au bleu caractéristique. Nous nous sommes demandés si la teneur relativement importante en nitrates — souvent supérieure à 100 parts par million — n'était pas liée au phénomène de photonitrification établi par MM. Tandon et Dhar.)

— La proportion de lignine n'est pas très importante (la lignine masque la réaction).

Nos expériences semblent confirmer la valeur de cette réaction. M. Birkemose, qui l'employait, nous a dit que son usage par les forestiers danois était courant. Les résultats techniques étonnants obtenus par M. Birkemose qui ne disposait que de cette réaction et de l'Indicateur Universel, comme seuls critères chimiques, nous avaient d'ailleurs favorablement impressionnés.

G. — INFLUENCE DU RAPPORT C/N

Le rapport C/N est un des facteurs qui influencent le plus le mode de décomposition. Grossièrement on peut dire que ce rapport est une autre expression de la teneur en azote puisque, généralement, la teneur en carbone des plantes est de 50 % et qu'elle ne varie que dans de faibles limites, principalement sui-

vant les proportions de cellulose (43-44 % C), à lignine (62-64 % C).

En pratique, nous avons trouvé que pour les herbes, la teneur en Carbone varie dans une proportion beaucoup plus importante que le raisonnement précédent ne le laissait prévoir (importance des protéines et cendres).

Résumons ce que Waksman écrit sur le rapport C/N, pages 450-451 : Dans l'économie du sol, les fungi décomposent rapidement les hydrates de carbone et causent une diminution du rapport C/N par une libération de CO_2 . Les bactéries s'attaquent en premier aux protéines et plus tard décomposent la matière organique dont le rapport C/N a été rendu favorable par les fungi.

On déduit de ceci que l'ammonisation sera maxima pour des rapports C/N favorables compris entre 12 et 16 (Waksman, 446 et pages suivantes). Nous avons vérifié ce point (dernière expérience). En application de ce que nous avons dit précédemment, afin d'éviter les pertes importantes de NH_3 au cours de la décomposition superficielle, il est donc raisonnable de considérer cette zone de C/N comme une zone peu économique. La dernière expérience qui sera relatée vérifiera que le rendement minimum du cycle de l'azote et l'accumulation maxima de N minéralisé correspondent à cette zone. Le rendement minima du cycle du carbone fut trouvé pour des C/N de 16 à 20. Entre C/N = 22 à 28, les cycles d'azote et de carbone présentent un maximum, tandis que l'ammonisation est minima. Comme les analyses ont été faites sur des sols de la surface desquels les résidus végétaux avaient été retirés (quand il en restait), nous sommes obligés de conclure que cette zone de C/N correspond à un mode de décomposition spécial particulièrement favorable au but cherché : il y a eu incorporation au sol de la plus grande proportion du carbone et de l'azote des engrais verts. Il serait intéressant de savoir quels sont les auteurs de cette transformation économique : fungi proprement dits, actinomyces, photo-oxydation?

Au-dessus de C/N = 28, on assiste à nouveau à une diminution des cycles de l'azote et du carbone, et à un accroissement de l'azote minéralisé. Nous nous sommes demandé s'il n'y avait pas là le phénomène de corrosion de la lignine par les fungi que M. Waksman signale page 401.

La même expérience (page 196 et suivantes) a montré qu'un rapport C/N inférieur à 12 pouvait également être favorable aux cycles de l'azote et du carbone. L'ammonisation est

alors importante en poids, mais proportionnellement faible. Quoique cette zone soit moins économique que quand C/N est supérieur à 20, il y a là un caractère favorable pour les Légumineuses à haute teneur d'azote.

**

Il ressort de la documentation citée qu'un rapport C/N important ne permettra une décomposition rapide que pour un médium neutre. Plus le milieu est acide, plus le rapport C/N doit être petit (c'est-à-dire se rapprocher de 12), ou en d'autres termes plus la teneur en azote doit être élevée. Il ressort de nos expériences que cette généralisation est tendancieuse pour nos herbes et nos sols. La température ambiante très favorable permet évidemment aux microorganismes de se montrer moins sélectifs dans leurs besoins.

**

En conclusion, il semble donc que la décomposition des végétaux en surface du sol ne puisse pas être confondue avec leur décomposition au sein du sol. Les conditions favorables à l'un des phénomènes sont souvent défavorables à l'autre.

En ce qui concerne le rapport C/N, et jusqu'à plus ample information, nous croyons que la contribution chimique à la sélection des plantes adventices devra se limiter à considérer comme défavorables toutes plantes à nutrition azotée minérale dont le rapport C/N est compris entre 12 et 16. Nos conclusions seraient inverses si les déchets devaient être incorporés au sol au cours d'un programme de labourage, précédant l'établissement d'une couverture de végétaux supérieurs à nutrition azotée minérale.

H. — INFLUENCE DE LA TENEUR EN LIGNINE

La lignine, ainsi que les produits solubles dans l'éther (qui sont, en général, en proportions beaucoup plus faibles), représentent la fraction des déchets organiques qui est la plus résistante à la décomposition.

D'après Waksman (400, 401), elle disparaîtra plus ou moins soit par l'action de certains fungi parasites qui la corrodent complètement, soit par une décomposition effectuée par quelques organismes spécifiques : certains actinomycètes, bactéries, et quelques fungi dont les Basidiomycètes.

Elle occupe une place prépondérante parmi les substances résiduelles qui forment l'humus et les acides humiques (401).

Il a été trouvé que la lignine formait, avec les protéines, des composés assez résistants à la décomposition. Seules les teneurs élevées d'azote permettent leur attaque rapide. (Waksman Soil Sc. Juillet 1933.)

Nos expériences ont montré qu'en effet la vitesse de décomposition dépendait, dans une certaine mesure, de la teneur en lignine, mais que des conclusions basées sur ce seul facteur pourraient souvent être tendancieuses. Nous avons trouvé que généralement le rapport $\frac{\text{azote}}{\text{lignine}}$ conduit aux mêmes conclusions que le rapport C/N, qu'il peut donc remplacer dans la sélection chimique. Les rapports 10 à 16 conduiront à des ammonisations trop rapides.

Nos expériences ont également mis en lumière une relation entre la perte au séchage à 100° et la teneur en lignine. Cette perte, que nous appelons « humidité » (en nous conformant à la littérature traitant de ces matières), semble varier en sens inverse de la teneur en lignine : à l'humidité maxima correspond une teneur en lignine minima.

A notre grande surprise, nous avons même constaté que cette humidité donne souvent des indications plus dignes de foi que la lignine. Il est possible que l'humidité d'une plante donne une approximation de la « fraction soluble ». Nous savons (Waksman, 442, 446, 491) qu'une proportion importante de ces éléments est un caractère très favorable à la décomposition d'un végétal.

Si nos expériences devaient être confirmées, nous serions amenés à proposer la règle pratique suivante : Toutes les plantes à humidité supérieure à 65 % sur poids humide sont favorables quant à la rapidité de décomposition. Toutes les plantes à humidité inférieure à 65 % seront analysées pour N%, et elles ne seront considérées comme favorables que si N atteint ou dépasse 3 %.

I. — CONCLUSION

Ce rapide exposé de la question, auquel nous avons accolé le résultat pratique de nos expériences, nous a permis de mettre en lumière plusieurs points importants.

a) La décomposition des végétaux en surface du sol doit techniquement être considérée comme un phénomène très différent de la décomposition au sein du sol.

b) Les conditions optima pour un phénomène sont souvent défavorables à l'autre.

c) Il est possible d'obtenir une incorporation naturelle au sol des déchets organiques, accompagnée d'un minimum de pertes par évaporation, en évitant une ammonisation rapide dans le premier stade de la décomposition.

d) L'utilité de la connaissance de la réaction ionique moyenne originale des végétaux a été montrée. Les pH inférieurs à 4,5 seront toujours considérés comme des facteurs très défavorables à la rapidité et à l'utilité de la décomposition. Les pH supérieurs à 5,5 pourront être suspects, *a priori*, de favoriser des ammonisations trop rapides.

e) La connaissance du rapport C/N est utile. La zone 12 à 16 permettra des ammonisations rapides qui seront défavorables au rendement du cycle carbone et azote.

La détermination de C/N n'est pas indispensable. Elle pourra être remplacée par la détermination du rapport $\frac{\text{lignine}}{\text{azote}}$ qui donne sensiblement les mêmes indications. La zone 10 à 16 de ce rapport sera également suspecte.

f) L'utilité de la connaissance de la perte au séchage à 100°C, appelée « humidité », a été montrée. Comme elle remplace, parfois avantageusement, la connaissance de la teneur en lignine, cette détermination très simple pourra être très utile au cours d'un travail rapide de « prospection ». Avec une certaine habitude, il sera même possible au phytosociologue de reconnaître dans les champs les plantes à haute teneur d'humidité, et de leur donner alors une attention spéciale.

g) L'utilité de la réaction de Diphénylamine sur les nitrates a été montrée.

h) Nous avons donc réussi à vérifier ou à établir l'utilité, pour notre sélection, des plantes adventices de quelques criteriums chimiques simples. Leur application permettra de réduire au temps minimum l'ère des tâtonnements, et de n'étudier physiologiquement entre elles que des plantes *a priori* favorables.

III. — EXPERIENCE DE DECOMPOSITION DANS LES CHAMPS

A. — GENERALITES

L'observation nous avait montré que les vitesses de décomposition des différentes plantes adventices étaient si différentes, que dans de nombreux cas, des expériences simples dans les champs pourraient suffire à donner une idée assez précise sur la valeur fertilisante d'un engrais vert.

En particulier, les débris des succulentes : *Portulaca oleracea*, *Argostemma pictum*, quelques Rubiacées : *Oldenlandia*, *Borreria*, *Hedyotis*, quelques Euphorbiacées, etc., à tissus quelque peu spongieux, disparaissent presque complètement du sol avec une rapidité étonnante.

D'autre part, des cryptogames vasculaires : *Gleichenia linearis*, *Lycopodium cernuum*, les feuilles d'*Hevea* et bien d'autres, présentent une résistance à la décomposition frappante sous nos climats tropicaux.

Avant d'exposer nos expériences, citons celle de MM. Haines et Pillay (R. R. I. *Rapport Annuel*, 1933), qui ont comparé la décomposition de treize déchets organiques :

- | | |
|---|---|
| 1. <i>Gleichenia linearis</i> | pris dans une expérience de décomposition contrôlée. (Une série a reçu de l'eau ordinaire, l'autre, de l'eau de chaux.) |
| 2. Feuilles et brindilles d' <i>Hevea</i> | |
| 3. <i>Lycopodium cernuum</i> | |
| 4. <i>Cassia hirsuta</i> | |
| 5. Bois décomposé | |
| 6. Feuillages ramassés dans la forêt vierge | |
| 7. <i>Gleichenia linearis</i> | ramassés dans les champs. |
| 8. <i>Crotalaria anagyroides</i> | |
| 9. <i>Blechnum orientale</i> | |

Voici quelques extraits-traductions des conclusions des auteurs :

« *L'addition de chaux n'a pas déterminé de différence sensible dans la vitesse de décomposition, ce qui était plutôt imprévu.*

« Les connaissances modernes sur la formation des « com-
« posts » et engrais de ferme artificiels supposent que l'addi-
« tion d'azote serait d'importance primordiale dans l'accélé-
« ration de la décomposition. Cette vue est encouragée par les
« taux de décomposition, observés dans les échantillons.
« L'échantillon (4) d'une plante azotée a été décomposé en
« environ un mois. Les débris d'*Hevea* ont suivi en une période
« double, tandis que le *Lycopodium* et le *Gleichenia* n'étaient
« pas entièrement décomposés après neuf mois. »



Les différents essais relatés dans les pages suivantes ne semblent pas confirmer ce point de vue. L'importance de l'azote sera certes mise en lumière, mais nous montrerons qu'il est d'autres facteurs inhérents à la plante qui influent également, sinon plus, sur la vitesse de décomposition.

Nous établirons aussi que la vitesse de décomposition ne peut pas être prise, sans danger, comme critérium d'utilité de la décomposition.

Enfin, nous prouverons que certaines teneurs élevées d'azote, que l'article de MM. Haines et Pillay feraient considérer comme un caractère favorable, peuvent, dans de nombreux cas, diminuer considérablement le rendement du cycle de l'azote au cours d'une décomposition en surface du sol.

B. — ESSAI AVEC LEGUMINEUSES DRESSEES

On a disposé 3 tas de $3 \times 1,50 \text{ m}^2$. La hauteur moyenne commune aux 3 tas était de 1 m. 10.

	25 Mai	30 Mai	6 Juin	13 Juin	20 Juin	Perte en 25 jours	
						cms	%
<i>Leucaena</i>	1.20	1.10	1.02	0.80	0.80	0.40	33%
<i>Tephrosia</i>	1.20	1.10	1.06	0.92	0.90	0.30	25%
<i>Crotalaria</i>	1.20	1.20	1.14	1.12	1.12	0.08	6.6%

Les analyses moyennes correspondent sensiblement à :

	pH		%	%	%	Nitrates
	élect.	RIMM	Lignine	H ₂ O	N	
<i>Leucaena</i>	6.7	6.4	34.64	64.15	4.93	< 5 ppm
<i>Tephrosia</i>	4.5	4.3	32.96	60.66	3.93	< 5 ppm
<i>Crotalaria</i>	5.95	5.5	20.49	70.66	3.40	< 5 ppm

Il semblerait, d'après ceci, que la teneur en azote a eu un effet décisif sur la vitesse de décomposition du *Leucaena*

glauca. En pratique, il fut trouvé que le tas de *Crotalaria* présentait une armature plus ou moins creuse, assez sèche, et il est difficile de dire que la décomposition de cet engrais vert est moins rapide que celle du précédent.

C. — ESSAI DANS LES TROUS

Nous avons supposé, après cet échec, qu'une faible quantité d'engrais verts, placés dans des trous, représenterait des conditions plus proches de la réalité.

Nous avons disposé 500 grammes (frais) de dix plantes dans dix trous de $0,60 \times 0,60$ et 12 cm. de profondeur. Le poids de matériel était pesé chaque fois que cela était possible, sans trop déranger les conditions de l'expérience. En particulier, quand les trous étaient plus ou moins remplis d'eau, aucune pesée n'était faite.

Trois engrais verts (*Hedyotis*, *Cheilanthes* et *Centrosema*), ne furent placés dans les trous que quarante-huit heures après les sept autres, pour raisons pratiques.

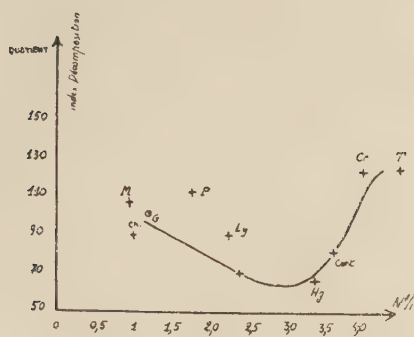
Nous donnons, ci-dessous, un tableau résumant les observations importantes :

PLANTES	pH	Poids humide orig.	Humidité originale %	Perte poids en 24 hrs	Perte poids en 5 jours	Perte poids en 24 jours	Index décomposition
<i>Hedyotis</i> C.	6.3	500 grs.	59.70%	58.6%	68%	73.6%	85. 3%
<i>Centrosema</i> p.	5.3	↓	67.39%	56.4%	65%	69.8%	86. 5%
<i>Cheilanthes</i> t.	4.2		73.83%	46.8%	55%	76.2%	90. 0%
<i>Paspalum</i> conj.	5.2		68.00%	40.6%	55%	64.1%	112. 0%
<i>Lycopodium</i> c.	4.04		58.17%	30.0%	52%	62.6%	89. 4%
<i>Glaichenia</i> l.	4.2		55.37%	21.4%	43%	54.6%	101. 5%
<i>Melastoma</i> p.	4.26		72.18%	19.6%	56%	70.2%	107%
<i>Tephrosia</i> c.	4.5		60.66%	19.4%	46%	50.2%	126%
Feuilles d'Hevea	5.9	↓	44.94%	15.3%	40%	62.1%	68. 6%
<i>Crotalaria</i> a.	5.0		70.66%	15.2%	52%	63.2%	125%

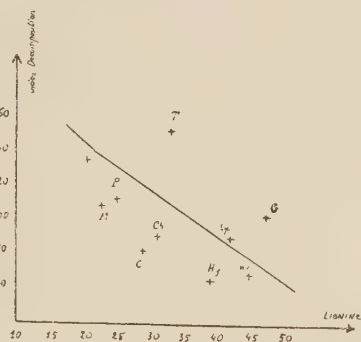
L'examen des courbes (page 175) et du tableau montrent que :

a) Pour toutes les plantes étudiées, la plus grande perte de poids a lieu au cours des *quatre premiers jours* : 72 % à 93 % de la perte de poids en vingt-quatre jours est même réalisée en vingt-quatre heures.

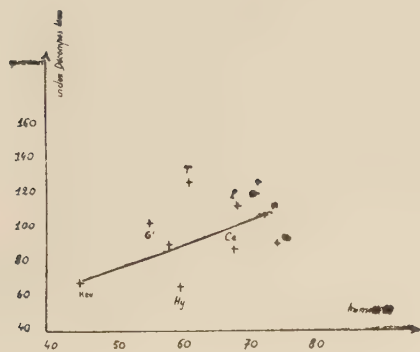
b) Pour toutes les plantes, sauf le *Lycopodium* et les feuilles d'Hevea, cette perte de poids rapide a été accompagnée d'une *transformation profonde* : disparition de la couleur verte, apparition d'une teinte jaune plus ou moins foncée,



1. Teneur en azote.

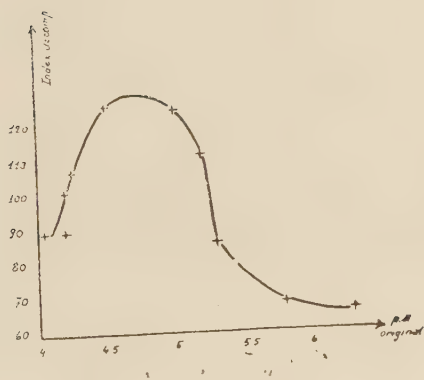


2. Teneur en lignine.

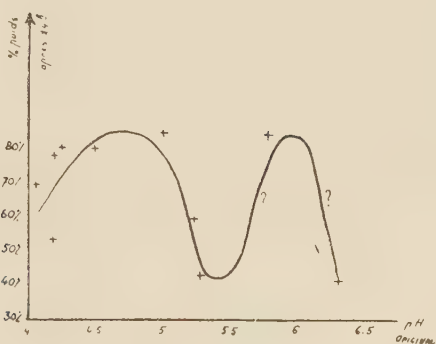


3. Perte à 100° C.

Influence des constantes des engrais
verts sur leur décomposition définie
par l'index : $\frac{\text{poids résiduel humide}}{\text{poids originel sec.}}$



1. Index de décomposition après 24 jours.



2. Poids résiduel après le premier jour.

Influence du pH original des végétaux sur leur décomposition.

accompagnée d'un séchage et d'un ratatinement général. La comparaison des chiffres de l'humidité originale et de la perte de poids en cinq jours, ne permet pas de déduire une relation nette entre ces chiffres. Il semblerait donc, et l'observation tend à le confirmer, qu'il y ait eu, en dehors du séchage, une décomposition nette. (Rappelons que la disposition en trous était très favorable à la diminution de l'évaporation.)

c) Certaines plantes réputées à juste titre pour leur bonne et rapide décomposition ont subi, au cours *des premières vingt-quatre heures*, une transformation profonde de coloration et perte de poids double ou triple des autres; ce sont : *Hedyotis*, *Cheilanthes*, *Centrosema*, *Paspalum conjugatum*.

Les feuilles d'*Hevea*, le *Crotalaria*, le *Tephrosia*, le *Gleichenia*, le *Melastoma* et aussi le *Lycopodium*, se sont mal comportés au cours de ce premier stade et n'ont rattrapé plus ou moins leur retard que grâce à une condensation d'humidité dans les trous, qui prit place entre le premier et le deuxième jour.

L'utilité fertilisante en surface du sol des débris végétaux de ces six origines, est probablement très intermittente et discutable en dehors des saisons de pluies régulières.

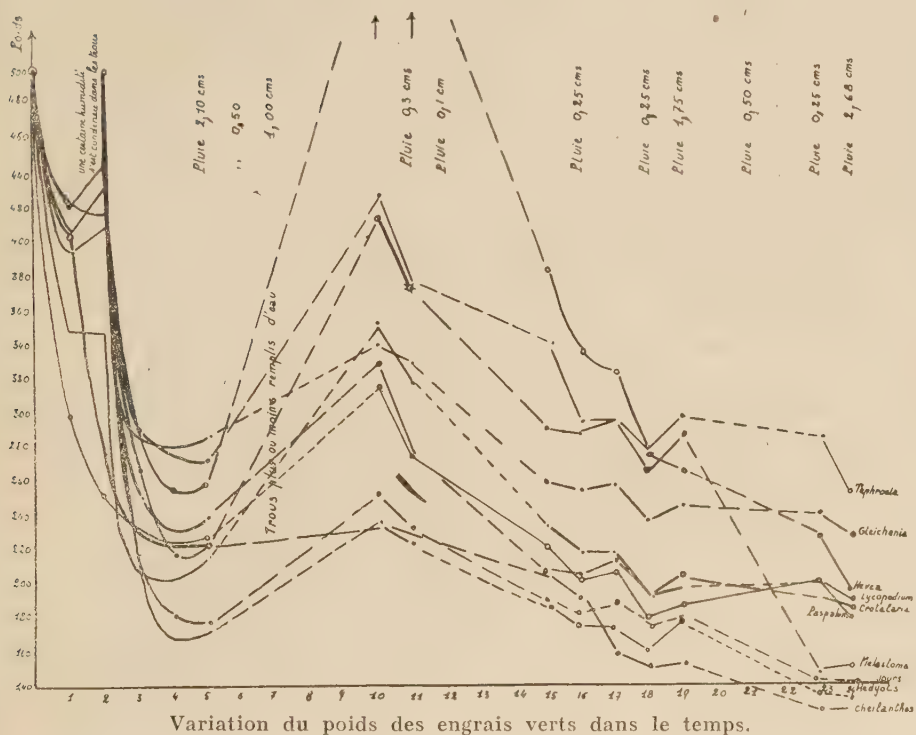
d) Les feuilles d'*Hevea* se distinguent particulièrement par leur capacité de rétention d'eau après les pluies. Il y a là un élément non négligeable dans l'économie d'un sol tropical. Les autres déchets sont beaucoup moins favorables à ce point de vue. Les deux moins mauvais sont le *Tephrosia* et le *Melastoma*.

e) Il nous a paru utile de considérer le quotient =
$$\frac{\text{poids final humide}}{\text{poids sec original}}$$
 utilisé comme *index de la décomposition*. Lorsqu'il y a simplement séchage, ce quotient doit être égal à 100 %, ou plutôt être supérieur, car ce poids final est un poids humide.

Connaissant l'analyse moyenne faite en notre laboratoire d'engrais verts de même origine, il nous a semblé alors intéressant de chercher quelles relations cet indice pouvait avoir avec les facteurs : N %, pH, humidité, lignine, de l'engrais vert original.

f) Les schémas, ci-joints, semblent montrer une relation assez nette entre la teneur en azote et l'indice de décomposition.

L'index de décomposition passe par un minimum au voisinage de N = 3 %, indiquant une décomposition avancée accom-



pagnée de pertes. Il est probable que les teneurs d'azote supérieures à 4 % ont permis une synthétisation rapide des produits de la décomposition, sous forme de protoplasme micro-organique qui a évité les pertes de CO_2 et NH_3 par évaporation.

Cette conclusion importante demande confirmation; elle cadre néanmoins assez bien avec les remarques faites page 168 à propos des plantes à rapport C/N inférieur à 12.

g) Le pH originel des tissus végétaux semble avoir une influence.

La perte de poids augmente en se rapprochant de la neutralité. Ceci semble raisonnable lorsqu'on se rappelle que dans les médiums à acidité décroissante, l'action bactérienne l'emporte rapidement sur l'action des fungi. L'action bactérienne est réputée peu économique pour les cycles de l'azote et du carbone.

pH original	Nous proposons l'explication suivante: résultats en 1 jour Résultats en 24 jours	
3,9 à 4,2	- La perte de poids est assez faible. Nous l'attribuons au séchage.	Relativement peu de pertes, grâce à une
4,2 à 5,2	- Perte minima. Nous supposons une activité fongicide de synthétisation maxima	synthétisation fongicide active.
5,2 à 5,75	- Perte maxima probablement causée par une activité bactérienne.	Perte maxima probable- causée par une activi-
5,75 à 6,5	- Nous n'avons que 2 points. Zone imprécise	té bactérienne.

h) L'influence de l'humidité des tissus est moins nette que les deux facteurs précédents. La relation semble tout de même se manifester.

i) Même remarque pour la teneur en lignine.

j) Nous avons essayé de comparer les pertes de poids après les premières vingt-quatre heures avec les différentes constantes de l'analyse chimique. Tous les graphiques tracés, ne représentent qu'une série de points disséminés, semble-t-il, par le hasard. Nous ne les reproduisons pas.

Un seul graphique représente une répartition de points réguliers. Il s'agit de la perte de poids après le premier jour, en fonction de la réaction ionique des tissus végétaux à l'origine. Il semblerait donc que l'hypothèse émise à ce sujet au cours du premier chapitre de cette cinquième partie soit justifiée.

Cette courbe nous indique un minimum de perte en un jour pour des réactions pH comprises entre 4,5 et 5,0, et un maximum pour les réactions 5,25 à 5,50. Il est également possible qu'il y ait un second maximum vers pH 6, ce qui n'est pas très clair.

*
**

k) *Conclusion.* — Cette expérience tentée sur des bases rappelant les conditions naturelles des champs semble confirmer l'application à nos sols d'une partie des connaissances générales exposées au cours du premier chapitre de la cinquième partie de cette étude.

D. — DEUXIEME ESSAI DANS LES TROUS

Il nous a paru utile de répéter la précédente expérience pour élucider ce point important : « *Le régime de la décomposition des déchets est-il réglé dans une certaine mesure, par le pH originel des tissus? Y a-t-il là une information de valeur pratique?* »

La même expérience fut recommencée avec vingt et une

herbes différentes dont les pH couvraient une zone assez continue de 4,2 à 5,8.

Nous nous sommes limités aux pesées après vingt-quatre heures et quarante-huit heures, ce qui, d'après l'essai précédent, devait suffire pour indiquer l'allure de la décomposition. En effet, nous avons vu que les plantes à décomposition rapide subissent la transformation la plus importante au cours des premières vingt-quatre heures.

De l'examen des courbes, nous déduisons que :

a) Le pH originel semble, en effet, influencer profondément le mode de décomposition, au moins au cours des deux premiers jours.

b) Le pH des tissus après vingt-quatre heures de décomposition ne signifie plus rien.

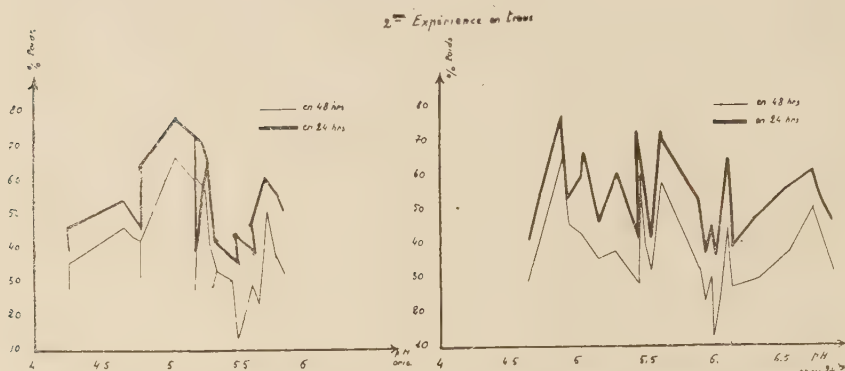
c) Toutes les décompositions créent une alcalinisation des tissus, sauf pour le Bromheadia. Il y a évidemment décomposition des acides organiques et libération de bases. Le phénomène est particulièrement remarquable pour le Tephrosia.

d) Le raisonnement fait supposer que les plantes à pH < 4,7 subissent, au début du moins, un séchage plutôt qu'une décomposition. Ces plantes peuvent donc, à ce titre, être *a priori*, sujettes à caution.

e) Il est assez difficile d'expliquer le « trou » de la courbe entre pH 5,2 et 5,6. Nous verrons, au cours d'autres expériences, que cette zone semble correspondre à une nitrification notable. Nous ignorons encore si ces phénomènes peuvent être rapprochés.

Décomposition des plantes dans les trous (deuxième expérience)

No Plante	Poids Frais	Poids après 24.hrs	%	Poids après 48.hrs	%	pH Plantes fraîches	pH après 24.hrs	pH Différence
1. Melastoma poly.	150	70	46.7	54	36.0	4.257	5.166	0.909
2. Crotalaria anag.	150	67	44.7	45	30.0	5.472	5.982	0.510
3. Tephrosia cand.	150	69	46.0	48	32.0	4.790	6.997	2.107
4. Leucaena glauca	100	47	47.0	30	30.0	5.605	6.298	0.693
5. Passiflora foet.	150	77	51.3	49	32.7	5.954	5.898	0.044
6. Imperata cylin.	150	90	60.0	65	43.3	4.756	5.033	0.277
7. Gleichenia lineae	150	81	54.0	69	46.0	4.675	4.933	0.260
8. Nephrolepis bis.	150	97	64.7	68	45.3	5.289	6.131	0.842
9. Lycopodium cern.	150	60	40.0	45	30.0	4.240	4.650	0.410
10. Blechnum orient.	150	58	38.7	35	23.3	5.655	5.932	0.277
11. Mikania scand.	150	52	34.7	20	13.3	5.505	5.998	0.493
12. Pueraria javan.	150	58	38.7	42	28.0	5.789	6.131	0.342
13. Bromheadia pal.	200	155	77.5	134	67.0	5.056	4.900	0.156
14. Dryopteris arida	100	42	42.0	33	33.0	5.355	5.566	0.211
15. Hevea (sauvageons)	150	107	71.3	86	57.3	5.255	5.632	0.377
16. Calladium sp.	300	193	64.3	126	42.0	4.773	5.066	0.293
17. Paspalum Comm.	150	90	60.0	76	50.7	5.738	6.730	0.992
18. Lygodium circ.	150	63	42.0	42	28.0	5.222	5.466	0.244
19. Axonopus comp.	150	90	60.0	58	38.7	5.222	5.699	0.477
20. Paspalum conj.	150	85	56.7	56	37.5	5.788	6.531	0.743
21. Cyrtococcum accr.	150	108	72.0	90	60.0	5.205	5.466	0.261



En fonction du pH original. En fonction du pH après 24 heures.
*Influence du pH des végétaux sur leur décomposition représentée
 par la variation de poids après 24 et 48 heures.*

IV. — EXPERIENCE DE DECOMPOSITION EN POTS

A. — BUT

Cette expérience a été entreprise pour étudier l'influence de quelques plantes au cours de leur décomposition, sur le sol qui les porte.

B. — ORGANISATION

Quarante-quatre pots en terre cuite, choisis de la même dimension, furent remplis le 10 décembre, de 8 kgs. de terre chacun. Le fond de chaque pot était garni d'un entonnoir en zinc, engagé dans une jarre de 20 litres, destinée à recueillir l'eau d'infiltration. La terre choisie était le « sol » d'une vieille culture d'Hevea, sol assez érodé et portant comme couverture quelques rares plantes adventices. Il répondait à l'analyse moyenne suivante, faite sur des échantillons prélevés dans les pots.

ANALYSE MECANIQUE							
Gravier	Sable grossier	Sable fin	Limon	Argile	Perte par solution		Total
0,15%	1,13%	50,79%	12,77%	31,52%	3,64%		100 %
ANALYSE CHIMIQUE (sur poids sec sauf H ₂ O%)							
Origine	H ₂ O%	C%	N%	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
Dans le sol...	26,13	0,91	0,070	13	0,0041	0,0678	4,512
Dans les pots...	13,92	0,97	0,067	14,47	0,0041	0,0678	4,725

Expérience de décomposition en pots



(Le 1^{er} pot est couvert de *Gleichenia* qui n'est pas décomposé après plusieurs mois; le 4^e pot qui était antérieurement couvert de *Portulaca* ne porte plus aucune trace de cet engrais vert.)

La première analyse a été faite avant la mise des sols en pots.

Le deuxième chiffre est la moyenne de sept analyses, espacées chacune de trois semaines, pour les quatre pots « témoins ».

La diminution de l'humidité est due au drainage naturel des pots.

— L'augmentation de carbone est partiellement due à l'addition de 2 0/00 de sol noir (humique), pris en un lieu où l'activité des vers était remarquable, ce qui faisait supposer une bonne activité micro-organique.

— La diminution de l'azote fut probablement déterminée par une minéralisation consécutive au remplissage des pots.

— L'augmentation du pH (suspension électrométrique) a été probablement déterminée par l'amélioration du drainage naturel.

C. — ENGRAIS VERTS

Les neuf engrais verts furent ajoutés de façon à couvrir entièrement la surface du sol (quatre répétitions, soit : trente-six pots et huit pots témoins).

Engrais verts	Poids frais ajouté	Poids sec correspondant	N. ajouté
<i>Crotalaria anagyroides</i>	70 grs.	20,60 grs.	0,02 grs
<i>Tephrosia candida</i>	70 "	27,50 "	1,24 "
<i>Gleichenia linearis</i>	35 "	15,60 "	0,19 "
<i>Lycopodium cernuum</i>	60 "	25,10 "	0,56 "
<i>Paspalum Commersonii</i>	70 "	20,02 "	0,25 "
<i>Cyrtococcum accrescens</i>	50 "	16,89 "	0,55 "
<i>Imperata cylindrica</i>	40 "	14,70 "	0,11 "
<i>Malastoma polyanthum</i>	60 "	16,70 "	0,15 "
<i>Portulaca oleracea</i>	100 "	11,50 "	0,55 "

D. — ANALYSES

Sept analyses à environ trois semaines d'intervalle chacune, furent faites sur les sols (humidité, pH, C, N), et sur l'eau d'infiltration récoltée dans la jarre (NO₃, NH₃, pH, volume d'eau). Les sols étaient prélevés à la partie supérieure des pots, en évitant de trop déranger les engrais verts. Pour alléger le travail analytique, les sols de quatre pots de même origine étaient mélangés soigneusement et l'échantillon moyen analysé. Nous ne rapporterons pas toutes les analyses qui remplissent de grands tableaux et... dont la valeur pratique fut trouvée malheureusement assez faible.

En effet, dans notre désir de rester dans des conditions sensiblement égales aux conditions normales de champs, nous avons un peu perdu de vue que l'effet probable des engrais verts sur le sol ne peut être aisément déterminé que sur des médiums à proportions $\frac{\text{plante}}{\text{sol}}$ très supérieures à 1 %.

Pour simplifier, nous indiquerons que les valeurs moyennes : a) au bout de dix jours; b) moyenne de sept déterminations espacées chacune de trois semaines (ce deuxième chiffre sera mis entre parenthèses).

Notons trois points importants :

(1) Le *Portulaca* ne fut pas trouvé en quantité suffisante le jour du commencement de l'expérience et il n'y eût qu'un seul pot recouvert.

(2) Nos méthodes colorimétriques de détermination de NO_3 ne sont sensibles qu'à des teneurs supérieures à cinq parties par million. Pour le NH_3 , elles sont sensibles à 0,2 ppm.

Le total NH_3 ne représente donc qu'une assez mauvaise approximation de la vérité, car, si la teneur était de 0,1 ppm. dans chaque analyse, nous avons pu ne pas tenir compte de : $5 \times 0,1 = 0,5$ ppm. (Au cours des cinq dernières analyses, aucune trace de NH_3 ne fut décelée.)

(3) La chute des pluies fut normale au cours de l'expérience :

1 ^{re} période	5,05 cm.
2 ^e période	15,15
3 ^e période	21,00
4 ^e période	10,10
5 ^e période	22,80
6 ^e période	9,15
7 ^e période	8,90

92,15 cm. pour 21 semaines.

Le diamètre de pots était de 25 cm. 5, c'est-à-dire qu'ils offraient une surface de 510 cm². Une précipitation totale de 92,15 cm. devrait donc déterminer une infiltration de 47 litres. Nous verrons que les chiffres trouvés pour chaque groupe de quatre pots couverts du même engrais vert, varient de 156 à 235 litres, prouvant qu'il y a eu quelques condensations.

E. — ETUDE DES TABLEAUX

a) La présence des engrais verts a amélioré l'humidité du sol, du début à la fin de l'expérience. Les deux seules exceptions qui, toutefois, ne sont pas permanentes, sont : le *Crotalaria* aurait diminué l'humidité au début, mais l'aurait améliorée largement en moyenne. Le *Tephrosia* aurait amélioré l'humidité au début, mais l'aurait légèrement diminuée en moyenne.

b) Aucun engrais vert n'a amélioré la teneur en carbone à la fin de la première période de trois semaines. Tous, sauf le *Paspalum* et le *Lycopodium*, semblent même avoir déclenché une dépression du carbone dans cette période. Leur présence aurait donc aidé la décomposition de la matière humique du sol, ce qui est admissible.

En moyenne, sur vingt semaines, les teneurs en C des parcelles et témoins, semblent retrouver un équilibre voisin, sauf les pots de *Cyrtococcum*, *Melastoma* et *Lycopodium*, qui accusent une légère accumulation de carbone, ce qui tendrait à faire supposer que leur décomposition est moins poussée. Cette hypothèse est étayée par les observations sur la décomposition.

c) Tous les engrais verts ont amélioré la teneur en azote du sol en vingt semaines, sauf peut-être le *Paspalum* et le *Portulaca*. Le *Gleichenia* et le *Lycopodium* ont déterminé une amélioration du N % du sol, qui est dans les limites d'erreur, donc douteuse. (La méthode Kjeldahl permet des erreurs de 7 % sur une détermination.)

d) Ont amélioré, semble-t-il, le pH en suspension du sol :

Après trois semaines : *Crotalaria*, *Tephrosia*;

En moyenne sur vingt semaines : *Melastoma*, *Crotalaria*, *Tephrosia*. Les autres cas sont peu nets.

e) On relève des différences dans les volumes d'eau infiltrés. A notre avis, elles sont attribuables au tassement irrégulier de la terre dans les pots, et à un léger débordement au cours des pluies intenses. Il y a évidemment eu aussi des phénomènes de condensation assez compréhensibles.

f) Nous n'avons pas trouvé de nitrates dans les eaux d'infiltration. Pour que la méthode employée nous permette de les identifier, il eut fallu des minéralisations excédant 75 à 100

Première Expérience de Décomposition en Pots.

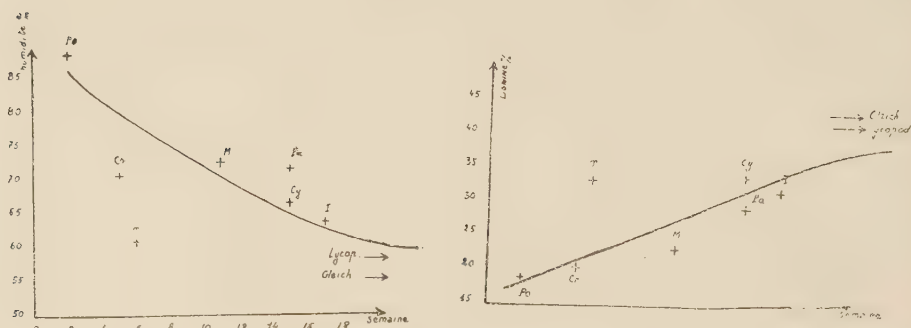
Analyse des Sols et des Eaux d'Infiltration

Espèce couvrant le Sol	ANALYSE DU SOL				ANALYSE DES EAUX				Temps de Décomposition	
	Humidité	C	N	pH	Volumes littres	NO ₃ ppm/litre	NH ₃ ppm	NH ₃ mg/litre		
Témoine A.	15.60 (13.94)	1.182 (0.953)	0.070 (0.071)	4.55 (4.69)	14.45 (156.87)		0.2 (0.4) tot	2.9	5.88 (5.37)	Nil
Témoine B.	15.12 (13.89)	0.988 (0.882)	0.070 (0.082)	4.57 (4.78)	14.50 (166.35)		0.2 (0.4) tot	2.9	5.61 (5.53)	
Crotalaria	12.09 (14.04)	0.307 (0.536)	0.078 (0.078)	4.75 (4.84)	22.6 (197.61)		1.6 (2.2) tot	36.2	6.22 (5.55)	Nil
Tephrosia	19.03 (13.75)	1.009 (0.654)	0.081 (0.086)	4.73 (4.81)	15.10 (163.89)		0.2 (0.2) tot	30.2	8.02 (8.02)	4 semaines
Gleichenia	20.43 (16.31)	0.811 (0.869)	0.075 (0.072)	4.68 (4.78)	12.25 (182.19)		0.6 (0.8) tot	7.35	8.08 (5.66)	7 semaines
Lycopodium	20.05 (19.54)	1.021 (1.017)	0.078 (0.073)	4.58 (4.71)	13.14 (154.61)		0.2 (0.2) tot	2.6	5.78 (5.62)	après 20 semaines n'est pas réellement décomposé. Il y a plutôt séchage.
Paaspalum	15.59 (15.17)	1.069 (0.947)	0.070 (0.068)	4.58 (4.78)	16.40 (183.31)		0.2 (0.2) tot	3.3	5.82 (5.61)	14 semaines
Cyrtococcum	15.82 (15.85)	1.042 (0.959)	0.075 (0.075)	4.56 (4.64)	16.25 (172.24)		0.2 (0.3) tot	3.2	5.75 (5.75)	12 semaines
Imperata	18.34 (18.34)	0.987 (0.955)	0.071 (0.075)	4.56 (4.72)	21.75 (233.94)		0.2 (0.3) tot	4.3	6.15 (5.75)	14 semaines
Melastoma	20.72 (18.00)	0.955 (1.037)	0.078 (0.080)	4.58 (4.88)	29.15 (176.70)		0.3 (0.4) tot	8.75	5.28 (5.50)	8 semaines
Portulaca	16.45 (14.48)	0.894 (0.985)	0.074 (0.070)	4.75 (4.78)	20.50 (194.56)	Moins de 5 ppm dans toutes les eaux d'infiltration	0.2 (0.4) tot	4.1	5.44 (5.56)	2 à 3 semaines

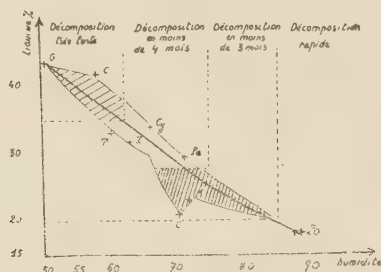
Remarque: les analyses d'eaux se rapportent au total
infiltré pour chaque Groupe de 4 pots.

OBSERVATION SUR LA DÉCOMPOSITION

	Après 19 jours presque disparu sauf un résidu	Après 50 jours un résidu	Après 78 jours un petit résidu	Après 100 jours terminée	Temps de Décomposition	
					admis	Deux semaines
Portulaca						
Crotalaria	Décomposition très avancée	Il ne reste qu'un résidu un peu plus important	idem	terminée		5 semaines
Tephrosia	idem		un petit résidu	terminée		6 semaines
Melastoma	Décomposition en cours	Décomposition en cours	un résidu repré- sentant le 1/4 du vol. original	Résidu du 1/4 environ		11 semaines
Cyrtococcum	idem	idem	il y a plutôt séchage que dé- composition.	mi-séchage mi-décomposition		15 semaines
Paspalum Commersonia	idem	idem	Moississures app- arences, mal décomposé.	idem		15 semaines
Imperata	idem	idem	Moississures mal décomposé.	idem		17 semaines
Lycopersium Glaucantha	A proprement parler, il n'y pas eu de décomposition, après 100 jours les 2 plantes ont gardé leur apparence modifiée seulement par un séchage.					Très long indéterminé



1. Perte à 100° sur poids humide. 2. Teneur en lignine sur poids sec.
Temps de décomposition des engrais verts en fonction de leur « humidité »
et de leur teneur en lignine.



Relation entre la teneur en lignine sur poids sec, la perte au séchage sur poids humide, et la rapidité de décomposition.

milligrammes de NO_3 . L'azote total contenu dans les engrais verts ajouté, varie de 110 à 1.100 milligrammes.

On ne peut donc rien déduire à ce sujet.

g) Les seuls engrais verts qui aient déterminé une produc-

NOTA I. — Nous appelons « lignine » un composé lignoprotéique déterminé ainsi : 2 grammes environ d'extrait à l'éther est traité avec 10 cc. de 18 % HCl et 50 cc. 72 % SO_3H_2 .

— 30 minutes de repos. Ajouter 300 cc. d'eau et faire bouillir trente minutes. Filtrer le composé de lignine qui contient quelques minéraux.

— Sécher et peser : (p) incinérer pour connaître le poids de minéraux que l'on retranche de (p). On obtient ainsi la teneur en lignine, plus un petit pourcentage d'azote, qui normalement sera bloqué dans la lignine (voir méthodes d'analyse page 206).

II. — « L'humidité » d'un engrais vert est la perte de poids à l'étuve à 100°C.

III. — Pour toutes analyses, voir les références, indiquées au début de cet ouvrage.

tion d'ammoniaque importante au cours de la première période, sont :

	<i>Dans eau de quatre pots</i>			<i>Dans plante d'un seul pot</i>	
	NH ₃ ppm.	NH ₃ milligr.	N %	Ngrs.	pH
Crotalaria	1,6	36,2	4,00	0,82	5,9
Tephrosia	2,0	30,7	4,50	1,24	4,2
Melastoma	0,3	8,75	0,93	0,15	4,0
Gleichenia	0,6	7,35	1,20	0,19	4,2
Témoin	0,2	2,9	—	—	—

Il est normal que les deux Légumineuses dont la teneur en azote est élevée, soient de loin, en tête de liste.

Les deux dernières plantes, Melastoma et Gleichenia, par contre, donnent des résultats un peu imprévus et qui demandent confirmation. Ces deux plantes sont celles qui ont la plus faible teneur en azote.

Si les observations extérieures s'appliquent à l'intérieur des tissus, nous croirions plutôt qu'il n'y a pas eu de décomposition, mais un simple séchage avec un lavage par la pluie de NH₃ de la sève.

De toutes façons, les quantités de NH₃ en jeu, sont très faibles et le doute peut planer sur la valeur de ces deux dernières déterminations.

h) Toutes les plantes, sauf le Melastoma et le Portulaca (au cours de la première période), ont alcalinisé le pH des eaux d'infiltration. Cela semble logique du fait de la libération des sels solubles contenus dans les engrais verts. L'Imperata, le Crotalaria et le Tephrosia ont eu une influence assez nette.

i) La rapidité de décomposition des engrais verts est une fonction du pourcentage en lignine de ces déchets.

Nous avons pris comme « temps de décomposition », la période nécessaire pour que la plante arrive à un état stable tel que le résidu ne présente plus, par la suite, de transformation importante, rapide.

Pour certaines plantes (nous l'avons signalé dans le tableau), cet état stable correspond plutôt à un séchage qu'à une décomposition réelle : Gleichenia, Lycopodium.

Au point de vue pratique, on notera que la connaissance de la teneur en lignine (du moins telle que nous la déterminons), n'est pas indispensable, car elle est pour beaucoup de plantes, en relation directe avec l'humidité originelle de l'engrais vert.

F. — CONCLUSION

Cette expérience a permis de vérifier l'applicabilité à nos plantes de quelques principes théoriques exposés au chapitre II. En particulier, elle a mis en lumière l'influence de la lignine et de l'humidité de la plante sur la vitesse de décomposition. Elle a également fait ressortir la possibilité d'une relation entre ces deux constantes.

Elle a montré que l'action ammonisante des engrais verts n'est notable qu'au début de la décomposition.

La trop grande quantité de terre utilisée dans l'expérience n'a pas permis de déceler les variations chimiques du sol.

V. — DEUXIEME EXPERIENCE EN POTS

A. — BUT

L'expérience précédente avait présenté une certaine im-
précision, en raison du poids excessif de sol et de la longueur
des périodes écoulées entre chaque analyse.

Nous avons donc utilisé 5 kgs de sol seulement et 100
grammes de chaque engrais vert.

Quatre analyses de sols furent faites : l'une, le jour de
l'application des engrais verts (avant), et trois autres à environ
une semaine d'intervalle.

B. — ORGANISATION

Même que pour l'expérience précédente.

C. — ETUDE DES TABLEAUX

a) La présence de tous les engrais verts a amélioré l'*hu-
midité* du sol du début à la fin de l'expérience. Ce point est
donc définitivement acquis.

b) La régression du carbone dans cinq sols sur onze est
apparente dans la première semaine. Les résultats concordent
irrégulièrement avec ceux de la première expérience.

Analyse semaine par semaine des sols des pots

Engrais Verts. Jours	H U M I D I T É %				C A R B O N E %				A Z O T E %				ppm AMMONIAQUE				ppm N I T R A T E				p H				
	0	7	15	24	0	7	15	24	0	7	15	24	0	7	15	24	0	7	15	24	0	7	15	24	
1. Témoin	19.85	20.59	14.99	23.23	0.95	0.95	0.645	0.635	0.06	0.066	0.067	0.079	4	2	2	2	2.4	2.0	2	2	4.998	4.998	4.958	4.978	
2. Crotalaria anagyroides	idem	21.19	15.71	23.93	idem	0.67	0.672	0.664	0.06	0.074	0.071	0.088	4	4	4	20	1d.	1.5	3.5	2	1d.	4.977	4.791	4.978	
3. Tephrosia candida	idem	23.02	19.64	23.39	idem	0.68	0.622	0.652	0.06	0.070	0.068	0.098	4	7	3	40	1d.	2.0	3	4	1d.	4.878	4.707	4.844	
4. Melastoma polyanthum	idem	22.39	19.51	24.99	idem	0.64	0.628	0.675	0.06	0.067	0.071	0.073	-	7	10	3	1d.	1.0	3	2	1d.	4.713	4.691	4.877	
5. Lycopodium cernuum	idem	21.61	17.84	24.01	idem	0.69	0.669	0.658	0.06	0.065	0.071	0.078	-	4	2	< 2	1d.	2.0	3	2	1d.	4.581	4.741	4.844	
6. Gleichenia linearis	idem	21.19	16.72	24.38	idem	0.64	0.653	0.664	0.06	0.065	0.068	0.076	-	4	7	4	< 2	1d.	2.0	2.5	2	1d.	4.812	4.724	4.743
7. Imperata cylindrica	idem	22.31	16.77	24.95	idem	0.64	0.622	0.664	0.06	0.066	0.069	0.073	-	4	5	3	< 2	1d.	2.0	3	2	1d.	4.766	4.458	4.743
8. Mikania scandens	idem	22.09	16.80	24.09	idem	0.62	0.630	0.664	0.06	0.070	0.071	0.080	4	5	4	2	1d.	2.0	3	2	1d.	4.831	4.624	4.710	
9. Blechnum orientale	idem	22.42	19.59	25.08	idem	0.60	0.607	0.658	0.06	0.060	0.070	0.078	4	6.5	3	2	1d.	1.5	2.5	2	1d.	4.713	4.459	4.726	
10. Dryopteris	idem	22.64	20.22	24.76	idem	0.65	0.634	0.724	0.06	0.060	0.066	0.076	4	6	2	3	1d.	2.0	2.5	1.5	1d.	4.829	4.741	4.894	
11. Centrosema pubescens	idem	22.07	18.19	23.64	idem	0.67	0.655	0.825	0.06	0.070	0.072	0.098	4	6	4	10	1d.	1.5	2.5	2.5	1d.	4.878	4.771	4.810	
12. Passiflora foetida	idem	21.14	14.47	23.42	idem	0.65	0.657	0.670	0.09	0.060	0.075	0.085	4	6	10	12	1d.	2.5	3	3	1d.	4.937	4.553	4.894	

(1) Le *Crotalaria* s'est mieux comporté que la première fois.

(2) Le *Tephrosia* moins bien.

(3) Semblent avoir diminué la teneur en C au cours des deux expériences : *Melastoma*, *Gleichenia*, *Imperata*.

(4) Le *Lycopodium* semble avoir amélioré la teneur en C au cours des deux expériences. De même qu'au cours de la première expérience, un équilibre plutôt favorable à la teneur en C se rétablit en fin d'expérience.

c) En ce qui concerne la teneur en azote du sol, les résultats ne concordent que partiellement avec la première expérience :

Le *Mélastoma*, le *Lycopodium*, le *Gleichenia*, le *Blechnum* et le *Dryopteris*, semblent défavorables, ce qui est assez compréhensible en considération de leur acidité, de leur lignine et de leur faible teneur en azote.

d) Contrairement à la première expérience, toutes les plantes semblent avoir légèrement acidifié les sols. Le *Lycopodium*, l'*Imperata*, le *Mikania* et le *Blechnum* sont suspects à ce sujet.

Il est assez difficile d'expliquer ce résultat, ne concordant pas avec celui de la première expérience. Le sol et la précipitation étant différentes, l'explication peut peut-être se trouver là.

e) Certains engrais verts ont libéré de l'ammoniaque dans le sol :

Première semaine : *Tephrosia*, *Melastoma*, *Gleichenia*, *Blechnum*, *Dryopteris*, *Passiflora* et *Centrosema*, ont libéré plus de 10 ppm.

Deuxième semaine : *Melastoma* et *Passiflora* ont libéré 10 ppm.

Troisième semaine : *Tephrosia* et *Crotalaria* viennent en premier, suivis par *Passiflora* et *Centrosema*.

— Il est utile de rapprocher de ces remarques, l'énoncé des durées de décomposition (1). Décomposition en vingt jours : *Crotalaria*, *Passiflora* et *Mikania* (2). Décomposition assez avancée en 20 jours : *Melastoma*, *Tephrosia* (3). Les autres plantes en étaient à un stade peu avancé, présentant souvent plus un phénomène de séchage qu'une décomposition.

— L'expérience N° 2 semble donc confirmer la précédente à ce propos.

f) La nitrification ne se manifesta dans le sol qu'après deux semaines. Les taux furent faibles. La *Crotalaria* (décom-

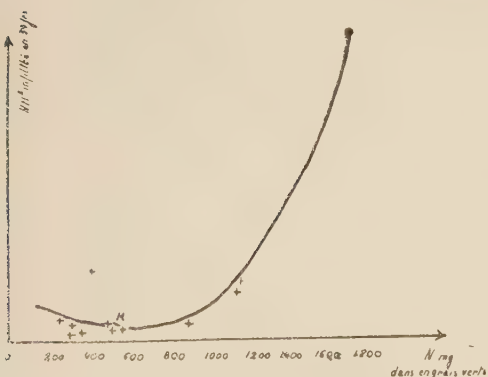
position rapide), provoque une nitrification maxima après deux semaines. Le Tephrosia, plus lent, après trois semaines.

Certaines plantes ont déterminé une régression de la nitrification. Le phénomène ne fut sensible que pour le Melastoma

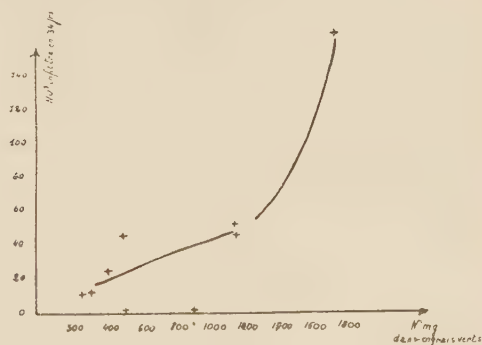
Tableau A. — *Analyse des engrais verts utilisés.*

ENGRAIS VERTS RANGÉS SUIVANT LEUR VITESSE DE DÉCOMPOSITION						
Plante	Analyse des Engrais Verts				Azote dans Eau d'Infiltration en 34 Jours.	
	N%	N. milligr.	Quotient lignine Azote	pH origin.	NH ₃ milligr.	NO ₃ milligr.
Crotalaria a.	4,00	1172	5,13	5,9	2,80	49,60
Mikania a.	3,72	512	9,65	5,4	0,89	44,75
Passiflora f.	1,75	420	13,80	5,0	3,67	25,40
Tephrosia a.	4,50	1775	7,30	4,2	15,90	163,90
Centrosema p.	3,63	1184	8,00	5,0	2,61	44,50
Blechnum o.	1,86	323	17,00	5,0	0,50	10,90
Melastoma p.	0,93	259	24,50	4,0	1,12	10,65
Imperata c.	0,81	321	24,80	4,9	0,85	17,35
Dryopteris a.	?	?	?	?	1,70	traces
Lycopodium c.	2,23	931	18,70	4,0	1,09	traces
Gleichenia l.	1,19	531	39,60	4,2	0,60	traces
Témoin	nil	nil	nil	nil	traces	traces

NOTA: Nous avons omis d'analyser le Dryopteris.



I. NH₃ infiltré.



II. NO₃ infiltré.

Azote minéralisé dans les eaux d'infiltration en fonction de l'azote total dans les engrais verts.

(teneur en azote : 0,93 %, décomposition assez rapide, dûe probablement à la faible teneur en lignine, 22,82 %).

g) La différence importante entre les volumes infiltrés, nous fait émettre les mêmes réserves qu'au sujet de l'expérience précédente.

h) Le pH des eaux infiltrés semble acidifié par les engrais verts; même remarque qu'à (d).

i) *Ammoniaque dans les eaux d'infiltration.* — De petites quantités d'ammoniaque se sont présentées dans toutes les eaux d'infiltration, dès les premiers jours de la décomposition.

Les plantes à décomposition, rapide et assez rapide, produisent des quantités relativement importantes et croissantes de

NH_3 qui atteignent leur maximum entre la deuxième et la quatrième semaine.

Les autres plantes semblent, par contre, présenter leur maximum beaucoup plus vite. Y a-t-il eu décomposition du carbone non lignifié et la décomposition se serait-elle arrêtée ensuite? Y a-t-il eu séchage? Il y a eu probablement combinaison des deux phénomènes car tous ces engrais verts présentent un rapport : $\frac{\text{lignine}}{\text{azote}}$ très élevé et une acidité originale importante.

j) *Nitrates dans les eaux d'infiltration.* — Les eaux d'infiltration n'ont présenté des nitrates qu'à partir du cinquième jour de la décomposition.

Certaines plantes n'ont donné que des traces : *Lycopodium*, *Gleichenia*, *Dryopteris*.

D'autres n'ont permis qu'une nitrification très faible : *Melastoma*, *Blechnum* et *Imperata*.

Tous les autres engrais verts se sont bien comportés.

L'effet des trois Légumineuses et du *Passiflora* s'est assez bien réparti sur les trente-quatre jours de durée de l'expérience.

L'effet du *Mikania* a été plus bref : vingt-sept jours. Celui des autres plantes (décomposition lente) a encore été plus bref (une à trois semaines).

D. — CONCLUSION

De même que la précédente, cette expérience est un échec au point de vue de l'effet des engrais verts sur le sol. Les quantités de sol utilisées sont beaucoup trop importantes pour la grandeur des variations et la précision des méthodes d'analyse.

Au point de vue rapidité de décomposition, les observations confirment généralement celles de l'expérience précédente. Le tableau de la page 189 fait ressortir la relation entre la vitesse de décomposition d'une part et les différentes constantes

d'autre part : teneur en azote, rapport $\frac{\text{lignine}}{\text{azote}}$, pH originel.

Le même tableau indique également une certaine relation entre l'azote minéralisé infiltré et la vitesse de décomposition. Les courbes représentant les quantités d'azote minéralisé infiltré en fonction de l'azote total des plantes sont très décevantes. Si on exclue une plante, le *Tephrosia candida*, on remarque une indépendance des deux variables assez imprévue.

Au point de vue sélection des plantes adventices, il se confirme que le *Lycopodium cernuum* et le *Gleichenia linearis*, qui couvrent encore la majorité des vieilles plantations, produisent des déchets dont la valeur fertilisante est insignifiante.

VI. — EXPERIENCE DE DECOMPOSITION DANS LES PLATS DE PETRI

A. — BUT

Pour compléter les informations acquises au cours des expériences précédentes, il nous restait à étudier d'une façon aussi précise que possible, l'effet chimique de décomposition des engrais verts sur le sol qui les porte. Nous avons donc employé une proportion : herbe à sol, beaucoup plus élevée que dans l'expérience précédente :

$$\frac{5 \text{ gr.}}{25 \text{ gr.}} = \frac{1}{5}$$

Nous avons cherché à nous rapprocher des conditions de décomposition les plus favorables : une précipitation par 48 heures, sol humique noir contenant évidemment tous les représentants normaux de la flore micro-organique dans un bon sol superficiel de vieille plantation.

B. — ORGANISATION

Un sol noirâtre bien homogénéisé fut réparti dans des plats de Pétri de 100 m/m de diamètre, au taux de 25 grammes par plat.

Ce sol répondait à l'analyse suivante.

Humidité % :	C %	N %	C/N.	pH.	NH ₃	NO ₃
sur p.humide :	sur sec.	sur sec			ppm.	ppm.
					sur humide	sur humide
56.05	13.02	0.73	17.84	3.825	5.6	3.2

D'où il ressort que les éléments présents, par plat, pesaient :

Poids terre	Poids terre	C	N	NH ₃	NO ₃
humide	sèche	grammes	milligr.	milligr.	milligr.
25 grs.	10.99	1.43	80.2	0.14	0.80

Sur chaque plat, des engrais verts furent placés au taux de 5 grammes.

Des échantillons de ces engrais furent analysés.

Afin de remplacer la pluie et de placer chaque engrais vert dans les conditions optima de sa décomposition en surface du sol, nous avons ajouté de l'eau de pluie tous les deux jours, de façon à conserver les sols dans un état humide, sans toutefois jamais atteindre la saturation.

Dès qu'un engrais vert était décomposé, le sol était analysé. Certains d'entre eux n'étant pas décomposés après soixante-dix jours, leurs débris furent alors retirés et les sols analysés.

Les plats (de tare connue) étaient pesés tous les trois à quatre jours, afin de vérifier : a) si l'eau n'avait pas été ajoutée en quantités anormales; b) la vitesse de décomposition.

Nous pouvons donc attendre de cette expérience les informations suivantes :

a) La vitesse de décomposition d'un engrais vert quand les conditions d'humidité sont optima;

b) Le besoin en eau pendant la décomposition des engrais verts;

c) L'effet sur le sol.

C. — ANALYSE DES ENGRAIS VERTS

Le tableau A ci-contre, donne l'analyse des engrais verts utilisés.

Le tableau B estime les éléments présents dans ces engrais, donne le temps de décomposition et la quantité d'eau ajoutée.

D. — ANALYSE DES SOLS EN FIN D'EXPERIENCE

Le tableau C donne l'analyse de sols en fin d'expérience.

Le tableau D estime le rendement en carbone et azote des engrais verts, d'après la variation des teneurs en C et N du sol.

Le tableau E estime l'azote minéralisé sous forme de NH_3 et NO_3 qui s'est accumulé dans le sol au cours de la décomposition.

Engrais Verts	Humidité sur poids humide %	Lignine sur poids %	Carbone lignifié C _p -lignine 0.68 %	Carbone sur sec C _T %	Carbone décomposable C _T - C _p = C _D	Azote sur sec %	C _T /N	Nitrates sur humide ppm.	pH RMM Elect	Lignine N
Portulaca oleracea	69.50	18.38	11.58	12.5	0.92	0.48	25.5	> 50	5.6	38.3
Crotalaria anagyroides	70.66	20.49	12.61	43.38	30.47	4.00	10.85		5.9	5.12
Tephrosia candida	60.66	32.66	20.76	43.17	22.41	4.50	9.6		4.9	7.31
Paspalum conjugatum	69.00	24.68	15.70	36.76	21.06	1.74	21.18		5.2	14.35
Centrosema pubescens	67.39	29.03	18.30	39.44	21.14	3.68	10.88	35	5.2	6.00
Lycopodium cernuum	58.17	41.78	26.80	46.60	20.30	2.25	20.9		4.04	18.72
Glaucienchia linearis	55.37	43.23	27.30	43.23	16.05	1.19	39.33		4.2	36.4
Cheilanthes tenuifolia	73.83	31.08	19.60	33.6	14.60	0.99	63.8		4.2	31.4
Melastoma polyanthum	72.18	22.82	14.40	27.77	13.37	0.93	29.8		3.9	24.5
Hedyotis congesta	59.70	39.21	27.30	43.37	16.07	3.37	12.87		6.2	11.6
Heves (feuilles)	44.94	44.64	28.10	43.48	15.38	2.32	18.74		5.6	39.2
Blechnum orientale	72.63	31.62	19.90	36.87	16.77	1.88	20.04		5.3	17.3

Tableau B. — Éléments présents dans les engrais verts.

	Poids humide grammes	Poids sec grammes	C grammes	N milligrammes	NO ₃ milligrammes	Vitesse de Décomposition	Eau ajoutée grammes	Eau ajoutée par jours grammes
1. Portulaca	5	0.58	0.072	2.78	>0.25	14 jours	30.253	2.15
2. Rhyotia	5	2.02	0.876	68.10		27 jours	75.547	2.80
3. Cheilanthes	5	1.31	0.440	13.00		29 jours	85.191	2.94
4. Blechnum	5	1.37	0.502	25.10		29 jours	89.699	3.09
5. Paspalum	5	1.60	0.588	27.8		41 jours	126.629	3.09
6. Tephrosia	5	1.97	0.850	88.6		56 jours	145.254	2.60
7. Crotalaria	5	1.47	0.638	58.9		64 jours	153.730	2.40
8. Centrosema	5	1.63	0.543	59.1	>0.17	68 jours	198.323	2.92
9. Melastoma	5	1.39	0.386	12.91		Décomposition assez avancée	187.254	2.76
10. Heves (feuilles)	5	2.75	1.193	63.70		Décomposition en cours	161.992	2.68
11. Lycopodium	5	2.09	0.975	46.60		Décomposition en cours après 70 jours	192.454	2.83
12. Gleichenia	5	2.23	0.965	26.50		idem.	208.365	3.07

Tableau C. — Analyse des sols en fin de décomposition.

Engrais vert	Poids terre humide grammes	Poids terre sèche grammes	C sur Sec		N sur Sec		NH ₃ sur Fraie		NO ₃ sur Fraie		C/N	pH
			%	grs	%	mg.	ppm milligr.	ppm	milligr.			
Portulaca	12.311	12.311	19.93	2.45	0.76	94	83.33	1.03	250	3.08	26.24	5.274
Crotalaria	13.546	12.768	18.87	2.41	0.93	126	476.2	6.44	41.67	0.56	19.06	6.553
Tephrosia	17.673	14.327	18.50	2.65	1.03	1.48	277.8	4.90	33.3	0.59	17.96	6.136
Paspalum	13.890	12.500	23.08	2.89	0.89	124	190.5	2.65	41.67	0.58	23.31	6.219
Centrosema	13.046	10.852	20.76	2.25	1.03	112	204.1	2.87	208.30	2.93	40.16	6.495
Lycopersum	14.226	11.262	19.87	2.23	0.97	109	136.1	1.94	25.00	0.36	20.46	6.894
Gleichenia	15.024	11.946	18.01	2.15	0.97	116	317.5	4.77	33.50	0.50	18.57	6.345
Chailanthos	14.164	12.623	18.35	2.32	0.91	115	222.2	3.15	56.00	0.79	20.16	6.568
Melastoma	14.130	12.214	19.29	2.23	1.00	122	238.1	3.37	33.30	0.47	18.29	6.228
Hedyotis.	13.500	13.500	19.50	2.63	0.99	93	500.	6.75	43.00	0.53	28.26	6.257
Havea	14.019	10.981	19.37	2.12	1.03	113	136.1	1.91	58.30	0.82	18.81	6.412
Blechnum	14.632	12.926	18.78	2.43	0.89	115	166.7	2.44	56.00	0.82	21.10	4.989

Tableau D.
Rendement en carbone et en azote des engrais verts.

Engrais vert	Grammes de C à l'origine		Grammes C en fin d'expérience		Rendement en C%	Milligrammes N. à l'origine		Milligr. N en fin d'expérience	Rend. en N%
	Sol	Plante	Sol	Plante		Sol	Plante		
Portulaca	1.43	0.007	2.45	1.50	763	80.2	2.8	85.0	113
Crotalaria	1.43	0.64	2.41	2.07	116	80.2	59.2	139.10	90.5
Tephrosia	1.43	0.85	2.65	2.28	116	80.2	88.6	168.8	88
Paspalum	1.43	0.59	2.89	2.02	108.7	80.2	27.8	108.0	115
Centrosema	1.43	0.94	2.07	2.07	138.7	80.2	59.1	139.5	80.3
Lycopersum	1.43	0.68	2.23	2.41	92.5	80.2	46.60	124.80	86.1
Gleichenia	1.43	0.87	2.15	2.15	99.6	80.2	28.50	106.7	108.8
Chailanthos	1.43	0.44	2.23	1.92	124.0	80.2	13.00	93.20	123.2
Melastoma	1.43	0.89	2.23	1.92	122.7	80.2	12.91	93.11	131.0
Hedyotis	1.43	0.68	2.12	1.90	107.0	80.2	26.10	148.50	93
Havea	1.43	1.19	2.43	2.43	126.0	80.2	58.10	148.50	118
Blechnum	1.43	0.50	2.43	1.93	126.0	80.2	25.10	165.80	109.1

Nota. — On remarquera que les rendements en C et N sont souvent supérieurs à 100 %. Nous expliquons ce phénomène par :

a) Les analyses d'Engrais Verts furent faites sur végétal séché à 100 ° C. Tous les éléments volatils non fixés (CO₂, NH₃) ont pu s'évaporer, donnant pour C et N des valeurs inférieures à la réalité.

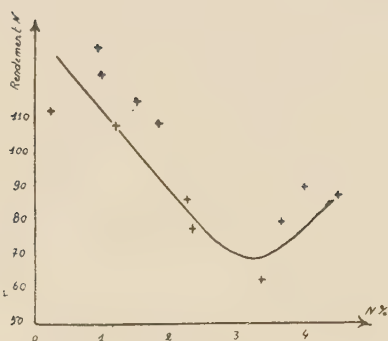
b) L'eau de pluie ajoutée, n'a pas été analysée. Il y a lieu de supposer qu'elle contenait C et N.

Engrais vert	Sol origine NH ₃ NO ₃ mg.	Sol final NH ₃ NO ₃ mg.	Libération dans le sol NH ₃ NO ₃ mg.	Accumulation N minéral NH ₃ NO ₃ mg.	N original mg.	N% minéralisé accumulé	Temps corresp. jours
Portulaca	0.14 0.80	1.03 3.02	0.89 +2.28	0.052+0.037=0.089	2.73	3.20%	17
Crotalaria	0.14 0.80	4.44 0.56	6.50 -0.24	0.371-0.004=0.367	58.9	0.92%	68
Tephrosia	0.14 0.80	4.80 0.59	4.76 -0.21	0.280-0.003=0.277	88.6	0.31%	60
Paspalum	0.14 0.80	2.65 0.58	2.51 -0.22	0.147-0.004=0.143	27.8	0.51%	60
Centrosema	0.14 0.80	2.67 2.93	2.73 +2.13	0.160+0.024=0.184	59.1	0.33%	43
Lycopersium	0.14 0.80	1.94 0.36	1.80 -0.44	0.108-0.007=0.099	43.60	0.21%	70
Gleichenia	0.14 0.80	4.77 0.50	4.63 -0.30	0.272-0.005=0.267	26.50	1.01%	70
Cheilanthes	0.14 0.80	3.15 0.79	3.01 -0.01	0.177-trace=0.177	13.00	1.35%	31
Melastoma	0.14 0.80	5.87 0.47	3.23 -0.35	0.190-0.005=0.185	12.01	1.43%	70
Hedyotis	0.14 0.80	3.75 0.53	6.01 -0.22	0.389-0.004 =0.385	68.10	0.565%	31
Hevea	0.14 0.80	1.91 0.92	1.77 +0.02	0.104+trace=0.104	83.80	0.16%	70
Alechnum	0.14 0.80	2.44 0.82	2.30 +0.02	0.135+trace=0.135	25.10	0.54%	31

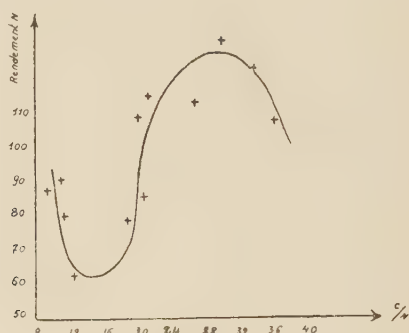
Tableau E. — Accumulation d'azote minéralisé (NH₃, NO₃)
dans le sol au cours de la décomposition.

E. — ETUDE DES TABLEAUX

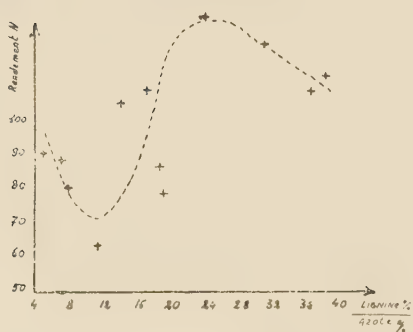
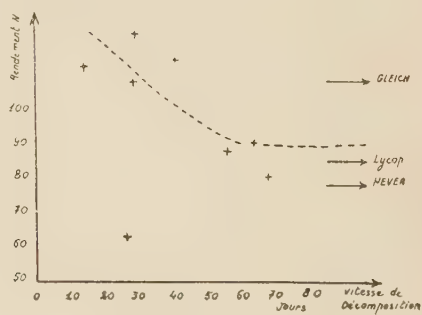
(a) Rendement en azote.



1. Teneur en azote.

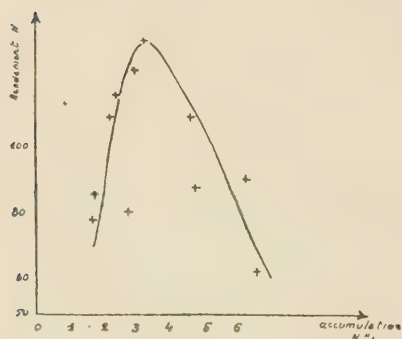


2. Rapport C/N.

3. Rapport $\frac{\text{Lignine}}{\text{Azote}}$ 

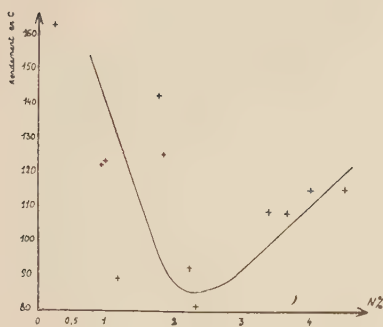
4. Vitesse de décomposition.

Rendement en azote de la décomposition en surface du sol en fonction des constantes des engrais verts.

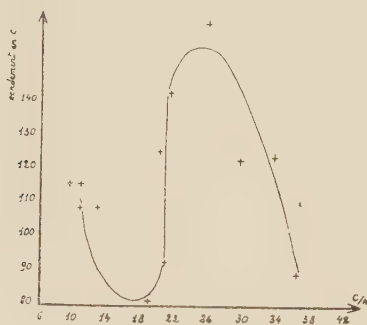


Relation entre le rendement en azote de la décomposition en surface du sol et l'accumulation résultante au NH₄ dans le sol.

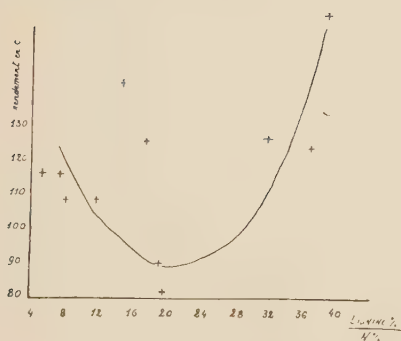
(b) Rendement en carbone.



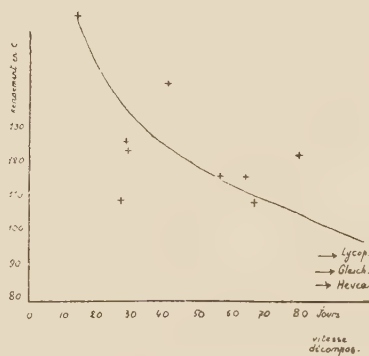
1. Teneur en azote.



2. Rapport C/N.



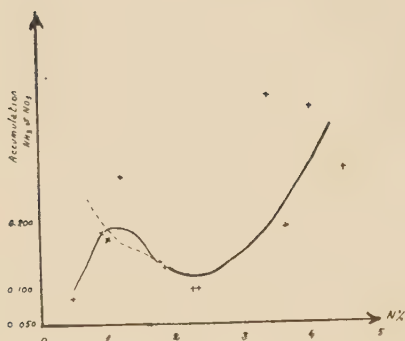
3. Rapport $\frac{\text{Lignine}}{\text{N}}$



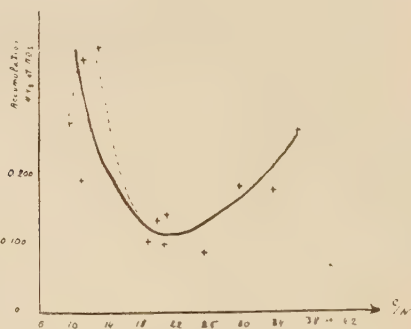
4. Vitesse de décomposition.

Rendement en C de la décomposition en surface du sol en fonction des constantes des engrais verts.

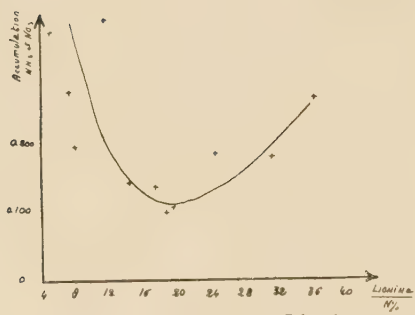
(c) Accumulation de l'azote minéralisé.



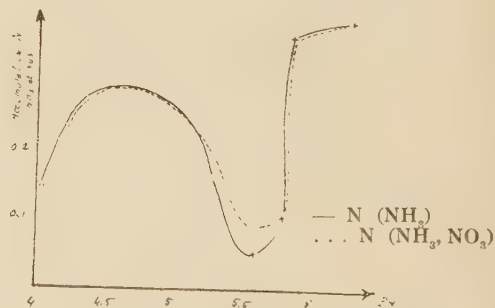
1. Teneur en azote.



2. Rapport C/N.

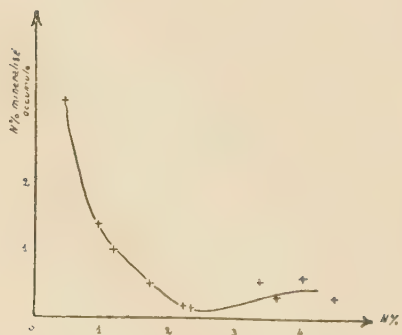


3. Rapport $\frac{\text{Lignine}}{\text{N}}$

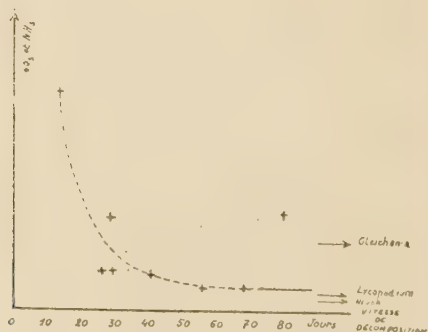


4. pH original.

Azote minéralisé (NH_4 et NO_3) accumulé dans le sol, en fonction des constantes des engrais verts.



1. Teneur en azote.



2. Temps de décomposition.

Pourcentage de l'azote des engrais verts qui s'accumule dans le sol sous forme minéralisée (NH_4 et NO_3) en fonction de N % et du temps de décomposition.

(d) Influence du rapport C/N.

(a) Influence du rapport C/N				REMARQUES
C/N	Rend. N	Rend. C	Accumulation. N. minéralisé	
8 à 10	Max.	Max.	Max	Combustion retardée, ammonisation accélérée. L'azote est attaqué plus vite que C. Le Min. de rendement de N corresp. aux Max. de NH ₃ accumulés L'azote est réutilisé immédiatement pour décomposer l'excès de Carbone Le rendement d'azote croît, mais l'ammonisation diminue. L'insuffisance d'azote retarde la décomposition. L'excès de carbone disponible, retarde l'ammonisation qui est minime.
10 à 12	↘	↘	↘	
12 à 14	{ Min.			
14 à 16				
16 à 18	↗	{ Min.	↘	
18 à 20	↗			
20 à 22	{			Il y a attaque du Carbone (corrosion et décomposition) et réutilisation plus ou moins entière de l'Azote, dans le but de diminuer le C/N. Au fur et à mesure que C augmente, la proportion de lignine augmente et l'ammonisation peut se faire dans une mesure croissante.
22 à 24			Min.	
24 à 26		Max.		
26 à 28		↘	↗	
28 à 30	Max.	↘	↗	
30 à 32		↘	↗	
au dessus	↘	↘	↗	

(e) Influence de la teneur en azote

N %	Rend. N	Rend. C	Accumul. N. minéralisé	% N minéralisé accumulé	REMARQUES
0 à 1	Max	Max	Max	Max	Combustion retardée Ammonisation marquée Décomposition d'amplitude croissante. L'accumulation de NH ₃ baissent, il y a probablement évaporation
1 à 2	↘	↘	↘	↘	
2 à 3	{ Min	↗	Min	Min	
3 à 4		↗	↗	↗	Rendement azote à son minimum. Le carbone est économisé. Il y a probablement large perte de NH ₃ par évaporation, car le pourcentage ammonié est faible.
au dessus	↗	↗	Max	bas et constant	
Nota: On vérifie qu'il y a perte par évaporation, au dessus d'une certaine teneur en NH ₃ par la courbe: Rendement N=f (accumulation NH ₃)					

(f) Influence du rapport $\frac{\text{Lignine}}{\text{azote}}$

Le rapport $\frac{\text{Lignine}}{\text{azote}}$ confirme généralement les conclusions obtenues par C/N.

(g) Influence de la vitesse de décomposition

Temps de Décomposition	Rendt. N.	Rendt. C	% N. minéralisé accumulé	Remarque
0 à 30 jours	Max.	Max.	Max.	Plus la décomposition est lente, plus il y a de perte par évaporation au cours des mutations successives
30 à 60 jours				
au dessus	Min.	Min.	Min.	

(h) *Nitrification.*

Il y a eu dénitrification dans presque tous les plats. Ceci est un phénomène connu quand il y a excès d'hydrates de carbone. Néanmoins, quatre plantes présentent une nitrification, qui est certaine pour deux d'entre elles : *Portulaca* et *Centrosema*. Ces deux engrais verts étaient d'ailleurs les seuls à indiquer une teneur originale en nitrate supérieure à 5 parts par million, par la réaction à la Diphénylamine. La proportion de nitrates aurait environ doublé. On remarquera aussi que les quatre engrais verts qui n'ont déclenché aucune dénitrification, avaient un *pH* original, compris entre 5,25 et 5,85, ce qui semblerait indiquer une zone de tamponnement optima dans cette région où les phosphates et bicarbonates seraient importants.

(i) *Influence du pH.*

Le *pH* original des engrais verts semble dans cette expérience encore, être un critérium valable pour la connaissance du mode de décomposition. La courbe accumulation d'azote minéralisé en fonction du *pH* original est une sinusoïde qui ressemble étonnamment à celle que nous avons tracée lors de l'expérience en trous pour la perte de poids après vingt-quatre heures. (Voir pages 173 et 178.)

Il semblerait donc se confirmer que le *pH* original des tissus végétaux a une influence sur les décompositions.

Nous concevons que les *pH* acides, inférieurs à 4,2, des tissus végétaux aient une influence sur la décomposition.

Nous ne concevons pas si bien, par contre, le minimum d'ammonisation (correspondant à un maximum de nitrification), qui se produisent entre *pH* 5,3 et 5,8.

Peut-être y a-t-il dans cette zone une large production de nitrites (non analysés) ?

Si ce phénomène devait se confirmer généralement, nous devrions admettre que la nitrification peut prendre place à une acidité un peu plus marquée que la décomposition bactérienne.

Cette conclusion, difficilement admissible pour une nitrification bactérienne, peut-elle être justifiable du phénomène de photo-nitrification établi par MM. Tandon et Dhar?

Au-dessus de 5,8, l'activité bactérienne de décomposition serait si importante que la libération de nitrate serait marquée par une réutilisation immédiate, ce qui est un phénomène connu.

Il est bon de remarquer que les quatre plantes de la zone 5,3-5,8 correspondent à des caractéristiques très différentes par ailleurs.

Engrais verts	C/N	Lignine	N%	NO ₃ ppm	Rendr. N. %	Rendr. C. %	Vitesse Décomp.
Portulaca	25.5	39.3	0.48	50	113	163	14 jours
Centrosema	10.86	8.0	3.63	35	80.3	108.7	68 jours
Hevea (feuilles)	18.74	19.2	2.32	<5	78.5	81	décomposition très lente
Blechnum	20.04	17.3	1.93	<5	109.1	126	29 jours.

F. — CONCLUSIONS

Cette expérience est assez décisive au point de vue application à nos sols des principes généraux exposés au chapitre II de cette cinquième partie.

Nous avons vérifié toutes les hypothèses émises à propos de N, C, C/N, lignine et nitrates.

Le seul point qui reste obscur est l'effet de la réaction *pH* originale des engrais verts. Il semble établi définitivement qu'elle ait une large influence sur le mode de décomposition. Le processus du phénomène n'est pas tout à fait clair. A ce sujet, en particulier, il faut noter que la nitrification, assez faible, ne semble pas se plier aux principes usuels. Les phénomènes de photonitrification sont trop peu connus pour qu'il soit possible de conclure à ce sujet.

VII. — SOMMAIRE DE LA CINQUIÈME PARTIE

Nous avons étudié, dans cette cinquième partie, l'influence des plantes adventices sur la fertilité du sol, au cours de leur décomposition.

Nous avons relaté nos expériences traitant de la décomposition en particulier. Nous croyons qu'elles se confirment mutuellement suffisamment bien pour que leur ensemble soit considéré comme une contribution effective à la connaissance de nos sols et à la sélection des plantes adventices.

Il ressort des points établis que les principes généraux de sélection des plantes adventices énoncés en fin du chapitre II de cette cinquième partie, sont suffisamment vérifiés pour être utilisés comme guides pratiques.

Nous avons d'ailleurs utilisé ces critères théoriques depuis plus de deux ans pour la discrimination des plantes adventices. Une centaine de plantes ont ainsi été étudiées. La sélection provisoire, ainsi obtenue, n'a eu à subir, après étude sociologique, qu'un nombre de modifications très restreint.

CONCLUSIONS GENERALES

Nous avons montré dans cette étude les évolutions déplorable que les méthodes d'exploitation classiques font subir aux sols des plantations. Les opérations d'ouverture annihilent une large portion de la fertilité du sol. Les opérations d'entretien poursuivent trop souvent l'œuvre de dévastation à un taux tel qu'il est permis d'écrire que la Technique Classique des plantations est un défi aux principes les plus élémentaires d'Economie du sol.

Nous ne prétendons nullement avoir rapporté dans cette étude la « solution pratique » qui conciliera l'Agronome et l'Administrateur de larges domaines. Cette solution qui doit offrir des garanties importantes de simplicité et de sécurité, ne peut sortir que de l'expérience des champs et être mise au point par le Planteur lui-même. C'est pourquoi dans notre cercle d'action, nous avons appliqué les données théoriques exposées au cours de ces pages sur de vastes surfaces expérimentales présentant un choix important de « solutions pratiques », surfaces que nous avons réparties sur de nombreuses plantations.

Nous avons établi, au cours des deux dernières parties de ce travail, un nombre important de critères simples qui faciliteront grandement le travail de sélection des plantes adventices, que l'Agronome est, et sera de plus en plus amené à faire. A notre connaissance, l'applicabilité des connaissances scientifiques que nous avons utilisées à ce sujet, n'avait pas encore été démontrée pour les sols, climats, plantes, et méthodes d'exploitation que nous avons décrites.

Nous nous sommes limités, chaque fois que cela a été possible, à l'exposé des méthodes plutôt qu'à celui des réalisations. En effet, il faut admettre que l'Economie Sylvicole des Planta-

tions d'Hévée et d'Elæis est encore dans son enfance et nous avons plus en vue, écrivant ces lignes, la Plantation de Demain de gérance à principes harmonieux, que celle d'Hier vouée aux périodes de transition confuses.

DEUXIÈME THÈSE

Proposition donnée par la Faculté :

MÉTHODES DE DÉTERMINATION DU pH DES SOLS

Nancy, le 4 janvier 1935.

Vu et approuvé :

Le Doyen de la Faculté des Sciences,
CORNUBERT.

Vu et permis d'imprimer :

Nancy, le 7 janvier 1935.

*Le Recteur de l'Académie,
Président du Conseil de l'Université de Nancy,
BRUNTZ.*

MÉTHODES D'ANALYSES EMPLOYÉES

A) Sols.

I. — *Analyse mécanique :*

G. W. ROBINSON. *Journal Agric. Sc.* 1922, 12, 287, 291, 306, 321.

II. — *Analyse chimique :*

a) *Acide phosphorique :*

W. C. BELGRAVE. *Malayan Agricultural Journal*, 1928, p. 361.

DENIGES. *Compte rendu*, 1928, 186, p. 1052.

b) *Potasse :*

ADDIE H. A. et WOOD T. B. « Volumetric Estimation of Potash by Cobaltinitrite of Sodium. » *Journal Chem. Soc.*, 1900, 17, 1076.

J. H. DENNETT. The Cobaltinitrite Method for the Estimation of Potash, with particular References to Soils. *M. A. J.* 1929, p. 341.

c) *Calcium et Magnesium :*

Voir Y. HENRY, *Terres Rouges d'Indochine*, p. 198.

d) *Azote :*

PREGL. Quantitative Organic Micro-Analysis (azote total moins nitrates par la méthode Micro-Kjeldhal).

Azote total : E. R. RANKER. A modification of the Salicylic Thiosulfate Method suitable for the determination of total nitrogen in plant solutions and soils extracts. *Journ. Ass. offi. Agr. Chemists*, mai 1927.

e) *Carbone :*

Méthode G. W. Robinson, modifiée. Voir W. Mc. LEAN et R. WILLIAMS. Détermination of Organic Carbon in Soils. Journ. Agr. Sc., 1929.

III. — *Analyse biochimique :*a) *pH électrométrique :*

E. BIILMANN. « On the Determination of Reaction of Soils by Means of the Quinhydrone Electrode. » Trans. Secon. Com. Int. Soc. Soil Ss. Grönningen, 1927, B. 236.

b) *Analyse biologique :*

THORNTON. Ann. Applied Biology 1922, 9, 241. « On the Development of a Standardised Agar Medium for Counting Soil Bactéria. » FRED. Soil Bacteriology.

LEHMAN-NEUMAN. Determinative Bacteriology.

B) **Plantes.**

a) *Azote.* — Azote total. RANKER. (Voir plus haut.)

b) *Carbone.* (Voir plus haut.)

c) *Nitrates.* — WITHERS et RAY. Journ. Amer. Chem. Soc., 1911. Vol. XXXIII, p. 708.

d) *Lignine et Extrait d'Ether.* — S. A. WAKSMAN. « Composition of natural organic materials », 1927, Soil Sc.

e) *Acides organiques.* — Voir J. SMALL : « Hydrogen-ions Concentration in Plant Cells and Tissues », p. 381.

BIBLIOGRAPHIE

Géologie.

- The Geology of Malaya (Scrivenor).
The Agricultural Geology of the Malay Archipel (Dammermann).

Sols - Généralités.

- Soil (Hilgard).
Soils Conditions and Plant Growth (Russell).
La dynamique du sol (Desmolon).
Soil Erosion. Imperial Bureau of Soil Sc. Tech. Comm., N° 28, 1933.
Soil vegetation and climate. Imperial Bureau of Soil Sc. Tech. Comm., N° 29, 1934.
Laterite soils. Imperial Bureau of Soil Sc. Tech. Comm., N° 24, 1932.
Terres Rouges Basaltiques d'Indochine (Henry).
Soil and the Microbe (Waksman and Starkey).
The Microorganisms of the soil (Russell).
Effect of burning. Soil Science. Sept. 1934 (Fowells et Stephenson).
Effect of temperature on bacterial nitrification in tropical countries. Soil Sc. Sept. 1934. Soil Sc. 1933 (Tandon et Dhar).
Fixation de l'azote atmosphérique, voir : Soil Sc., Sept. 1934 (Vandecaveye).

- Principles of soil Microbiology (Waksman).
An Introduction to Tropical Soils (Vageler).
The relative aluminum tolerance of cover (Mc. Lean et
E. Gilbert).

Sols Malais.

- The Malayan Agricultural Journal :*
Malayan Soils, 1913, pp. 20, 418 (Barrowcliff).
Liming Soils, 1913, p. 42 (Eaton).
An acid soil, 1915 (Barrowcliff).
Soil analysis, 1915 (Grantham).
Some Johore soils, 1916, p. 114 (Grantham).
Soils on Bernam river, 1916, p. 298 (Grantham).
Laterite and its formation, 1916, p. 14 (Grantham).
Acidity determination on Malayan soils, 1927, p. 206
(Belgrave).
Soil analysis, 1928, p. 289 (Belgrave).
Soils, 1929, N° 7 entier (Belgrave et Den.).
Laterite, 1929, p. 454.
Peat as a fertilizer, 1930, p. 293 (Altson).
Western Coastal Alluvial soil, 1932, p. 298
(Dennett).
Studies in Malayan soils, 1933, pp. 345, 471
(Dennett).
The Rubber Research Institute of Malaya :
Summary of meteorological records, Bull. 4
(Haines).
Some considerations on silt-pitting, Bull. 1929, p. 20
(Haines).
Diseases of covercrops, Bull. 1929, p. 29 (Weir).
Biological aspects of soil fertilities, Bull. 1931, p. 5
(Corbet).
Biological aspects of soil fertilities, Rapp. ann.,
1930, p. 98 (Corbet).
Biological aspects of soil fertilities, Rapp. ann.,
1931, p. 57 (Haines).
Fats and waxes in the soil, Rapp. ann., 1930, p. 99
(Corbet).

Botanique.

Agricultural Botany (Percival).
Botany of the living plant (Bowler).
Anatomie et Physiologie végétale (Pizon).
Flora of the Malay peninsula (Ridley).
Ferns of British India (Beddome).

Malayan forest Records :

N° 5, Malayan plant names (Watson).
N° 6, Mangrove Forests of the Malay peninsula (Watson).
N° 7, Growth of Malayan Forest trees (Edwards).
N° 10, Dipterocarpaceae of the Malay peninsula (Foxworthy).
Les Rubiacées à Bactéries fixatrices d'Azote, Revue Bot. Appliq., août 1934 (A. Chevalier).

Méthodes sylvicoles.*The Malayan Forester :*

Preparatory fellings, vol. I, p. 4 (Watson), p. 53 (Edwards).
Final fellings, vol. I, p. 43 (Sanger-D.).
Elements of Malayan Sylviculture, vol. I, p. 85 (Hodgson).
Artificial regeneration, vol. I, p. 107 (Walton).
Light requirements of Malayan trees, vol. III, p. 137 (Walton).
Rubber Forestry, vol. I, p. 115; vol. III, p. 3 (Oliphant).
Artificial versus Natural regeneration, vol. I, p. 186 (Oliphant).
The improvement of inferior forests, vol. I, p. 254 (Walton).
Study of secondary growth, vol. II, p. 107 (Symington).
Experimental treatment plots, vol. II, p. 125 (Walton).

The Rubber Research Institute of Malaya :

The Forestry System of Rubber planting, 1932, p. 54 (d'après « Birkemose »).

Sélection des Plantes adventices (*physiologique*).

- Plant Sociology (Braun-Blanquet).
Javaansche Theeonkruiden (Baker et Slooten).
A Manual of Green Manuring, Dept. of Agriculture (Peradenya).
Uses and control of natural undergrowth, R. R. I. Manual, N° 6 (Haines).
Nodule formation on Leguminous covers, R. R. I., Ann. Rept., 1929, p. 78.
Cover Crops, R. R. I., Ann. Rept., 1930, p. 43.
Effect of covers on the growth of young rubber trees, R. R. I., 1931, pp. 28, 110; 1932, p. 123 (Haines).
A propos des nodules, voir : Malayan Agri. Journ., 1928, p. 173; 1929, p. 308.
A propos enrichissement en azote, voir : Tropical Agricultur., vol. LXXX, p. 199.

Sélection chimique des Plantes adventices.

- Principles of Soil Microbiology (Waksman).
Fixation of protein by Lignin and formation of complexes resistant to microbial decomposition, Soil Sc., juillet 1933 (Waksman et Iyer).
Influence of the C/N ratios of organic material on the mineralisation of Nitrogen. Jour. Agric. Sc., janvier 1929 (Jensen).
The composition of natural organic materials and their decomposition in the soil. Soil Sc., 1927 (Waksman et Tanney).
The Carbon et Nitrogen contents of some natural covers. The Rubber Research Institute Bulletin, 1932, p. 132 (Akhurst).
The Acidity of raw humus in relation to natural covers, R. R. I., Bull., 1933, p. 14 (Haines).
Influence of Soil acidity upon the decomposition of organic matter in soils, Soil Sc., janvier 1934 (White-Holben-Jeffries).
The relation of the nitrifying capacity of soils to the availability of Ammonia and Nitrates. Soil Science, décembre 1933.

Chimie.

- Précis de Chimie Agricole (E. Gain).
The Determination of Hydrogen ions (Clark).
Hydrogen-ions concentration in Plant cells and tissues (Small).
Extracts from transactions of the Record commission of the International Society of Soil Science. Gröningen, 1927.
Phosphate « available », Journ. Amer. Soc. Agronomy, 1930, p. 874 (Truog).
Chemical investigations on plants (Rosenthaler).
Preliminary studies of the exuded Plant sap and the relation between the composition of the sap and the soil solution, Journ. Amer. Soc. Agron., février 1933 (Pierre).
The Phosphorus concentration of the exuded sap of corn as a mean of the available phosphorus in the soil. J. A. S. A., février 1933.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos. — Historique des plantations	15
--	----

PREMIERE PARTIE

Introduction au sujet

I. — Éléments pédologiques et climatologiques sur la Malaisie	23
A. — Situation	23
B. — Climat	23
C. — Pluies	23
D. — Éléments géologiques	24
jI. — Méthodes culturales en vogue dans les plantations..	25
A. — Brûlage	26
B. — Période non en rapport	26
C. — Période de rapport	27
D. — Nouvelles tendances	29

IjI. — Etat du sol : physique, chimique, biochimique....	31
A. — Introduction	31
B. — Considérations communes à la majorité des sols	32
a) Considérations physiques	32
b) Considérations sur les éléments chimiques totaux	33
c) Considérations sur les éléments chimiques solubles	35
d) Le pH du sol	35
e) Considérations biologiques	36
f) Variations entre le sol et le sous-sol	37
g) Variations du sol causées par nos méthodes de cultures	38
h) Valeurs pratiques des analyses	42
C. — Considérations particulières aux principaux types de sol	43
a) Argiles meubles	43
b) Argiles épaisses	43
c) Latérites	44
d) Terres de marais asséchés	45

DEUXIEME PARTIE

Eléments de sociologie sur la végétation adventice des plantations

I. — Introduction	51
II. — Conditions oecologiques régissant les espèces	51
III. — Eléments de syngénétique	53
IV. — Caractères physiologiques améliorants d'une plante.	54
V. — Conditions pratiques d'application	59

VI. — Associations-types se succédant sur un sol nouvellement « brûlé »	61
VII. — Quelques associations utiles ou bénignes pour les ouvertures	63
VIII. — Associations-types dans les vieilles cultures	64
IX. — Quelques associations utiles ou bénignes dans les vieilles cultures	66
X. — Caractères physiologiques des 100 plantes adventices les plus usuelles	67
A. — Filicinées	68
B. — Lycopodées	69
C. — Monocotylédones	70
D. — Dicotylédones apétales	73
E. — Dicotylédones gamopétales	74
F. — Dicotylédones polypétales	77

TROISIEME PARTIE

Le problème des légumineuses

I. — Introduction	81
II. — Cycle de l'azote dans les sols de plantations	81
A. — Nutrition azotée des plantes	82
B. — Enrichissement du sol en azote par débris organiques des plantes adventices	83

C. — Enrichissement de l'azote du sol par les racines des légumineuses	87
D. — Bilan de l'azote du sol	89
E. — Variation de la teneur en azote du sol	91
 III. — Cycle des minéraux dans les sols des plantations.....	93
A. — Disponibilités dans le sol	93
B. — Pertes	93
C. — Gains	95
D. — Conclusions	95
 IV. — Considérations physiologiques sur les légumineuses usuelles	96
A. — Légumineuses traçantes	96
B. — Légumineuses dressées	98
C. — Leur effet sur les cultures principales	100
D. — Conclusions	104
 V. — Etablissement des légumineuses dans les sols pauvres et sous les vieilles cultures	105
A. — Etablissement des légumineuses dans les sols de jeunes cultures d'Heveas	105
B. — Etablissement des légumineuses sous vieilles cultures d'Hevea	109
C. — Conclusions	112
 VI. — Légumineuses offrant des possibilités comme plantes adventices	114
A. — Jeunes cultures	114
B. — Vieilles cultures	117

QUATRIEME PARTIE

De l'acidification du sol par les plantes adventices

I. — Introduction	121
II. — Le pH de la sève des plantes	122
III. — De l'acidification de nos sols par les plantes adventices	124
A. — Action chimique des racines	124
B. — Interaction entre le pH du sol et le pH des sucs exsudés par les racines	126
C. — Une expérience de colonisation	127
D. — L'Estimation de l'acidification du sol par la méthode de M. Chaminade	128
E. — L'effet-tampon dans nos sols	129
F. — Difficulté d'application de la méthode de M. Chaminade à nos sols	130
G. — Application de la méthode de M. Chaminade.	131
H. — Principe des méthodes proposées	133
I. — Valeur des méthodes proposées	135
J. — Conclusions techniques	135
K. — Application des méthodes proposées	139
L. — Conclusions pratiques	140
IV. — Détermination de l'acidité des plantes en volume et en densité	141
A. — Différentes méthodes d'échantillonnage....	141
B. — Détermination du pH par la méthode colorimétrique R.I.M.M.	143

C. — Trace des courbes-tampons	148
D. — De l'utilisation pratique des courbes-tampons	149
V. — Application détaillée à quelques plantes	150
A. — Introduction	150
B. — Effet chimique du <i>Lycopodium cernuum</i> sur le sol	151
C. — Examen des courbes de neutralisation de la sève	152
D. — Estimation de la concentration totale des acides organiques de la sève d'après les courbes de neutralisation	154
E. — Analyse des acides organiques	157

CINQUIEME PARTIE

De l'influence des plantes adventices sur la fertilité de nos sols

I. — Introduction	161
II. — Liste des facteurs dont l'influence sur la décomposi- tion a été montrée	162
A. — Vue d'ensemble	162
B. — Continuité en volume des apports	162
C. — Influence du pH du médium	162

D. — Influence de la rapidité de la décomposition.	164
E. — Influence de la teneur en azote	164
F. — Utilité de la présence des nitrates dans la plante fraîche	165
G. — Influence du rapport C/N	165
H. — Influence de la teneur en lignine	167
I. — Conclusion	168
 III. — Expérience de décomposition dans les champs.....	 170
A. — Généralités	170
B. — Essai avec Legumineuses dressées	171
C. — Essai dans les trous.....	172
D. — Deuxième essai dans les trous	176
 IV. — Expérience de décomposition en pots	 178
A. — But	178
B. — Organisation	178
C. — Engrais verts	179
D. — Analyses	179
E. — Etude des tableaux	181
F. — Conclusion	186
 V. — Deuxième expérience en pots	 186
A. — But	186
B. — Organisation	186
C. — Etude des tableaux	186
D. — Conclusions	190
 VI. — Expérience de décomposition dans les plats de Pétri.	 191
A. — But	191
B. — Organisation	191

C. — Analyse des engrais verts	192
D. — Analyse des sols en fin d'expérience	192
E. — Etude des tableaux	196
F. — Conclusions	201
 VII. — Sommaire de la cinquième partie	 202
 CONCLUSIONS GENERALES	 203
Méthodes d'Analyse	205
Bibliographie	209

